

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА**

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт  
з курсу

**КАБЕЛЬНІ ТА ПОВІТРЯНІ ЛІНІЇ**  
**ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ**

*(для студентів 4 курсу денної та 5 курсу заочної форм навчання бакалаврів  
за напрямом підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології)*

**Харків**  
**ХНУМГ**  
**2014**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Кабельні та повітряні лінії електропередачі» (для студентів 4 курсу денної та 5 курсу заочної форм навчання бакалаврів за напрямом підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології) / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: Є. Д. Дьяков. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 54 с.

Укладач: Є. Д. Дьяков

Рецензент: к.т.н., доц. Ю. П. Кравченко

Рекомендовано кафедрою Електропостачання міст,  
протокол № 1 від 29.08.2013 р.

## ЗМІСТ

Стор.

Лабораторна робота 1. Вивчення конструкції силових кабелів .....	4
Лабораторна робота 2. Вимір опору ізоляції силових кабелів .....	9
Лабораторна робота 3. Визначення виду й місця пошкодження в кабельних лініях петльовими методами .....	15
Лабораторна робота 4. Визначення місць пошкодження в кабельних лініях імпульсним методом .....	22
Лабораторна робота 5. Аварійні режими в міських електричних мережах .....	30
Лабораторна робота 6. Визначення цілості жил кабелів і фазіровка кабельних ліній .....	33
Лабораторна робота 7. Вимір тангенса кута діелектричних втрат і ємності ізоляції .....	41
Список джерел .....	47
Додатки .....	48

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

## ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ СИЛОВИХ КАБЕЛІВ

### 1.1 Мета роботи

Вивчити конструкції силових кабелів, їх основні конструктивні елементи й функціональне призначення.

### 1.2 Загальні положення

Кабелі, призначені для передачі й розподілу електричної енергії, називаються силовими. Вони складаються з наступних основних конструктивних елементів: струмопровідних жил, ізоляції, оболонки і захисних покриттів.

Крім основних елементів у конструкцію силових кабелів можуть входити екрани, нульові жили, жили захисного заземлення й заповнювачі.

Струмопровідні жили призначені для проходження електричного струму. Вони бувають основними й нульовими.

Основні жили призначені для виконання основної функції кабелю – передачі по них електроенергії.

Нульові жили використовуються для протікання різниці струмів фаз при нерівномірному їх навантаженні. Приєднуються вони до нейтралі джерела струму.

Жили захисного заземлення є допоміжними жилами кабелю й призначені для з'єднання металевих частин електроустановок, які не знаходяться під робочою напругою, з контуром захисного заземлення джерела струму.

Виготовляються струмопровідні жили з міді або алюмінію. Опір мідної струмопровідної жили, перелічений на  $1 \text{ мм}^2$  номінального перерізу, 1 метр довжини і приведений до температури  $20^\circ\text{C}$  має бути не більше  $0,0178 \text{ Ом}$ , алюмінієвої жили – не більше  $0,029 \text{ Ом}$ .

Струмопровідні жили можуть бути круглими або фасонними (секторні, сегментні або іншої форми). Застосування секторних і сегментних жил замість круглих призводить до зменшення діаметра кабелю на 20-25% і відповідно до скорочення витрат матеріалів на ізоляцію, оболонку й захисні покриття.

Круглі й фасонні жили виготовляються однопроволочними й багатопроволочними. Перерізи жил силових кабелів надані на рисунку 1.1.

Номінальні перерізи основних, нульових і жил захисного заземлення наведені в таблиці 1.1 Додатка.

Ізоляція служить для забезпечення необхідної електричної міцності струмопровідних жил кабелю по відношенню один до одного й до заземленої оболонки (землі).

Ізоляція розташована безпосередньо на струмоведучій жилі називається ізоляцією жили.

Ізоляція багатожильного кабелю, накладена поверх ізольованих скручених жил називається поясною ізоляцією.

У силових кабелях використовується паперова просочена, пластмасова та гумова ізоляції.

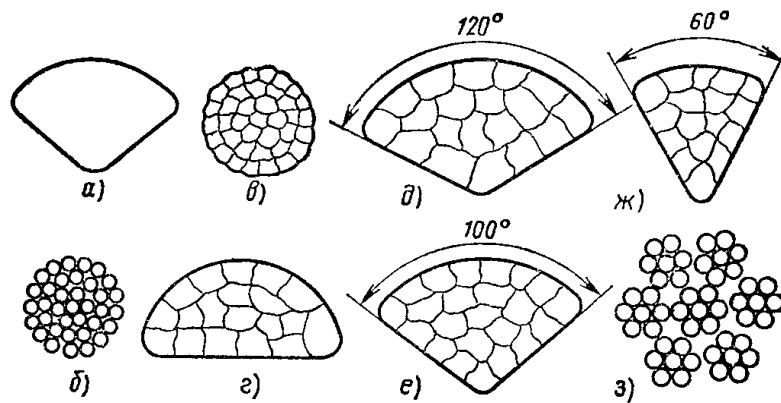


Рисунок 1.1 – Перерізи струмопровідних жил кабелів:

*а – секторна однопроволочна жила; б – кругла багатопроволочна неуцільнена жила; в – кругла багатопроволочна уцільнена жила; г – сегментна багатопроволочна уцільнена жила для двожильних кабелів; д – секторна багатопроволочна уцільнена жила для трьохжильних кабелів; е – секторна багатопроволочна уцільнена жила для чотирьохжильних кабелів; ж – секторна багатопроволочна уцільнена нульова жила для чотирьохжильних кабелів; з – багатопроволочна жила складної правильної концентричної скрутки з семи стренг*

Паперова просочена ізоляція – це багатошарова ізоляція зі стрічок кабельного паперу, накладених у вигляді обмотки на струмоведучу жилу й просочена ізоляційним складом.

У кабелях на напруги до 10 кВ застосовується одношаровий кабельний папір марок К-080, К-120, К-170 (товщина паперу відповідно 0,08, 0,12 і 0,17 мм).

Залежно від в'язкості просочувального складу кабелі з паперовою ізоляцією виготовляються з в'язким, збідненим і нестікаючим просочувальним складами. Для просочення використовується маслоканіфольний склад марки МП-3 або МП-5, які містять у різних пропорціях каніфоль, поліетиленовий віск і нафтове масло.

Пластмасова ізоляція у вигляді суцільного шару виконується з полівінілхлориду, поліетилену, етіленпропілену або зшитого поліетилену.

Основною вимогою, яка пред'являється до ізоляції силових кабелів, є висока електрична міцність. Збільшення електричної міцності ізоляції, дозволяє зменшити її товщину, що відповідно покращує відведення тепла від жили, дозволяє збільшувати робочий струм, зменшує витрати матеріалів на виготовлення кабелю, а також підвищує його гнучкість.

При конструюванні силових кабелів використовуються спеціальні технічні рішення, які дозволяють регулювати електричне поле, що впливає на ізоляцію, наприклад, застосування градірованої ізоляції, екранів тощо. Як правило, електричне поле в силовому кабелі неоднорідне. Щоб врахувати неоднорідність поля використовують коефіцієнт неоднорідності

$$K_n = E_{\text{макс}}/E_{\text{ср}}, \quad (1.1)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт неоднорідності;

$E_{\text{макс}}$  і  $E_{\text{ср}}$  – відповідно максимальне і середнє значення напруженості електричного поля.

Розрізняють слабо неоднорідні ( $K_n < 3$ ) і різко неоднорідні ( $K_n > 3$ ) електричні поля. Умовою нормальної роботи ізоляції є співвідношення

$$K_n E_{\text{ср}} < E_{\text{доп}}, \quad (1.2)$$

де  $E_{\text{доп}}$  – припустима напруженість, при якій в ізоляції відсутні розряди в процесі впливу випробувального або робочої напруги  $U_{\text{возд}}$ .

Для виконання цієї умови товщина ізоляції між жилами і між жилою і оболонкою повинна бути в  $K_n$  разів більше, ніж в однорідному полі

$$\Delta > (U_{\text{возд}}/E_{\text{доп}})K_n. \quad (1.3)$$

Напруженість електричного поля в ізоляції одножильного екранірованого кабелю на поверхні радіусом  $r_x$  дорівнює

$$E = \frac{U}{r_x \ln \frac{R}{r_1}}, \quad \text{кВ/мм}, \quad (1.4)$$

де  $U$  – напруга між жилою й металевою оболонкою, кВ;

$r_1$  – радіус жили чи провідного екрану поверх жили, мм;

$R$  – радіус по ізоляції, мм.

Напруженість електричного поля в струмопровідній жилі радіусом  $r_1$  буде максимальною, а напруженість біля металевої оболонки радіусом  $R$  – мінімальною.

Середня напруженість електричного поля в ізоляції становить

$$E_{\text{ср}} = \frac{U}{R - r_1}, \quad \text{кВ/мм}. \quad (1.5)$$

Коефіцієнт використання ізоляції визначається за формулою:

$$\eta = \frac{r_1}{R - r_1} \ln \frac{R}{r_1}. \quad (1.6)$$

Величину максимальної напруженості електричного поля біля поверхні жили в трьохжильному кабелі з круглими жилами при рівній товщині жильної й поясної ізоляції визначають наступним чином:

$$E_{\text{макс}} = U_{\text{л}} \left( \frac{1}{2\Delta_{\text{из}}} + \frac{0,18}{r_1} \right), \quad \text{кВ/мм}. \quad (1.7)$$

Екрани призначені для вирівнювання електричного потенціалу уздовж ізоляційної конструкції, а також для захисту зовнішніх ланцюгів від впливу електричних полів струмів, що протікають по кабелю. У кабелях на напруги 6-10 кВ із паперовою ізоляцією екрани розташовуються на пояській ізоляції. Для виготовлення екранів застосовується електропровідний кабельний папір марок КПУ-80 і КПУ-120.

У кабелях із пластмасовою ізоляцією напругою 6 кВ екрани накладаються на жили й на поясну ізоляцію. При цьому матеріал екрана й ізоляції повинен бути однаковим, щоб у процесі експлуатації між екраном й ізоляцією не утворювалося порожнеч.

Заповнювачі використовуються для усунення вільних проміжків між конструктивними елементами кабелю з метою герметизації, додання необхідної форми й механічної стійкості конструкції. Як заповнювачі в кабелях з паперовою ізоляцією застосовуються джгути із сульфатного паперу, просоченої кабельної пряжі або штапелірованої склопряжі. Для кабелів із пластмасовою ізоляцією заповнення повинне бути: при ізоляції з поліетилену, або самозагасаючого, вулканізуючого поліетилену – з матеріалу ізоляції або з полівінілхлоридного пластикату; при ізоляції з полівінілхлоридного пластикату – з полівінілхлоридного пластикату. Кабелі із пластмасовою ізоляцією на напругу 1 кВ допускається виконувати без заповнювачів.

Оболонки призначені для запобігання проникнення в ізоляцію вологи, захисту її від впливу світла, різних хімічних речовин, а також запобігання від механічних ушкоджень. У кабелях з паперовою ізоляцією оболонки виготовляються зі свинцю або алюмінію.

Свинцеві оболонки виготовляють зі свинцю марок С-2 і С-3 з додаванням різних присадок, наприклад, сурми. Алюмінієві оболонки виготовляються пресованими з алюмінію марки А або звареними з алюмінію марки АД1.

Пластмасові – полівінілхлоридні й поліетиленові оболонки відрізняються від ізоляційного складу відповідним підбором пластифікаторів і стабілізаторів, які забезпечують підвищену стійкість проти світлового старіння. Крім того, ці оболонки більше стійкі до агресивних середовищ у порівнянні з алюмінієвими й свинцевими.

Захисні покриття призначені для захисту оболонки кабелю від зовнішніх впливів. Залежно від конструкції кабелю в захисні покриття входять подушка, бронепокрив і зовнішній покрив.

Подушка – частина захисного покриття, накладена на оболонку й призначена для запобігання від ушкодження оболонки стрічками або дротом броні.

Бронепокрив – частина захисного покриття, що складає з металевих стрічок або дротів і використовується для захисту кабелю від зовнішніх механічних впливів.

Зовнішній покрив – частина захисного покриття кабелю, призначеного для захисту броні від корозії й виконана із захисного шланга, випресованого із пластмаси або з волокнистих матеріалів, просочених спеціальним протигнільним або составом, що не горить.

Різним конструктивним елементам силових кабелів привласнені буквені індекси, які наведені в таблиці 1.2 Додатка.

### **1.3 Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з конструкціями силових кабелів, які виробляються різними заводами – виготовлювачами й областями їхнього застосування.

2. На лабораторних стендах вивчити основні конструктивні елементи силових кабелів.

3. Вивчити буквені індекси, які привласнюються різним конструктивним елементам силових кабелів.

4. Зробити ескіз поперечного перерізу, однієї з обраних марок кабелю.

5. Скласти таблицю основних технічних характеристик обраної марки кабелю.

6. Провести розрахунок максимальної й середньої напруженості електричного поля мінімум для двох різних перерізів струмопровідної жили обраної марки кабелю.

7. Побудуйте графік залежності максимальної напруженості від товщини ізоляції для обраної марки кабелю.

### **Контрольні запитання**

1. Перелічіть основні конструктивні елементи силових кабелів і вкажіть їхні основні функції.

2. Поясніть, у чому полягає принципова відмінність силових кабелів від електричних шнурів і контрольно-вимірювальних кабелів.

3. Опишіть конструкції струмопровідних жил силових кабелів.

4. Перелічіть ряд номінальних перерізів струмопровідних жил силових кабелів.

5. Укажіть відмінності між нульовими, струмопровідними й жилами захисного заземлення.

6. Поясніть, які функції виконує оболонка в силових кабелях, і з яких матеріалів вона виготовляється.

7. Перелічіть основні види ізоляції, які використовуються в силових кабелях.

8. Опишіть, як виконується градірована ізоляція.

9. Укажіть, які функції виконує поясна ізоляція й де вона розміщується в силовому кабелі.

10. Поясніть призначення екранів у силових кабелях і перелічіть матеріали, з яких вони виготовляються.

11. Перелічіть способи, за допомогою яких здійснюється регулювання електричного поля в силових кабелях.

12. Укажіть, з якою метою в силових кабелях застосовуються ущільнені жили.

13. Поясніть, як визначити коефіцієнт використання ізоляції.

14. Перелічіть матеріали, з яких виготовляють ізоляцію силових кабелів.

15. Перелічіть буквені індекси, які використовуються для позначення ізоляції в марках силових кабелів.

16. Перелічіть буквені індекси, які використовуються для позначення оболонки в марках силових кабелів.

17. Перелічіть буквені індекси, які використовуються для позначення броні в марках силових кабелів.

18. Перелічіть буквені індекси, які використовуються для позначення зовнішнього покриття в марках силових кабелів.

19. Приведіть формулу, за допомогою якої визначається максимальне значення напруженості електричного поля в трьохжильному кабелі.

20. Приведіть формулу, за допомогою якої визначається напруженість електричного поля в ізоляції одножильного кабелю.

Література: [1, 2].



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### ВИМІР ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВИХ КАБЕЛІВ

#### 2.1 Мета роботи

Вивчити методику виміру опору ізоляції силових кабелів. Одержати навички роботи з мегаомметрами, які рекомендується застосовувати для проведення вимірів.

#### 2.2 Загальні відомості

Вимір опору ізоляції кабельних ліній (КЛ) рекомендується робити мегаомметром на напругу 2500 В. Виконувати виміру дозволяється тільки на відключених і розряджених КЛ.

Вимір опору ізоляції одножильних кабелів без металевого екрана (броні, оболонки), прокладених у землі, виконується між жилою і землею; для одножильних кабелів, прокладених на повітрі, опір ізоляції не виконується. Вимір ізоляції одножильних кабелів з металевим екраном (оболонкою, бронею) виконується між жилою й екраном.

Вимір ізоляції багатожильних кабелів без металевого екрана (броні, оболонки) виконується між кожною жилою і іншими жилами, з'єднаними між собою. Вимір ізоляції багатожильних кабелів з металевим екраном (бронею, оболонкою) виконується між кожною жилою й іншими жилами, з'єднаними разом і з металевим екраном (бронею, оболонкою). Технологічна схема вимірів наступна:

- А - В + С + оболонка;
- В - С + А + оболонка;
- С - В + А + оболонка.

Електрична схема виміру опору ізоляції кабелю з металевією бронею наведена на рисунку 2.1.

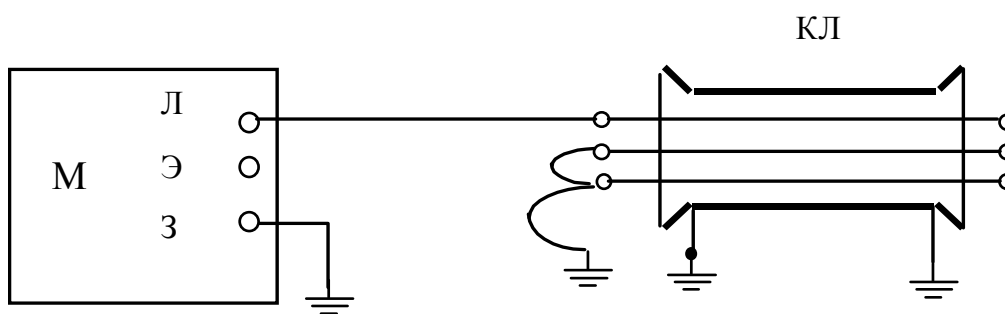


Рисунок 2.1 – Схема електричних з'єднань для виміру опору ізоляції жил кабелю: М – мегомметр; КЛ – кабельна лінія

Перед першими вимірами КЛ повинна бути розряджена шляхом з'єднання всіх металевих елементів між собою й землею не менш чим на 2 хв.

Відлік значень опору ізоляції виконується після закінчення однієї хвилини з моменту включення напруги. Кабельна лінія напругою до 1 кВ вважається витримавшей випробування, якщо опір ізоляції становить не нижче 0,5 МОм.

При проведенні вимірів слід враховувати специфіку впливу різних зовнішніх факторів на величину опору ізоляції. Одним з таких факторів є температура. При її підвищенні в більшості діелектриків, які використовуються для електричної ізоляції, збільшується кількість вільних носіїв зарядів, що приводить до зниження опору. В зв'язку з цим однозначно зробити висновок про стан якості ізоляції досить важко.

Іншим, розповсюдженим фактором, який впливає на опір ізоляції, є її вологість. При підвищенні вологовбирання відбувається істотне зменшення опору ізоляції.

Більшість використовуваних електроізоляційних матеріалів є гігроскопічними, тобто здатними вбирати вологу з навколишнього середовища, що вносить додаткову погрішність у реальну величину опору ізоляції. На практиці для оцінки стану ізоляції доцільно використати коефіцієнт абсорбції

$$K_{\text{абс}} = R''_{60} / R''_{15}, \quad (2.1)$$

де  $R''_{60}$  й  $R''_{15}$  – значення опору ізоляції, які вимірювались відповідно через 15 і 60 с після включення напруги.

Значення  $K_{\text{абс}}$  для вологої ізоляції перебуває в межах 1,0-1,2, для сухої ізоляції – 1,2-1,7 і вище.

Для виміру опору ізоляції устаткування в мережах 0,4 кВ використовуються мегаомметри з вихідною напругою не менш 1000 В, а в мережах 6 кВ і вище – мегаомметри з вихідною напругою 2500 В. У зв'язку із процесом поляризації, що протікає в ізоляції величина вимірюваного опору залежить від часу прикладення напруги. Еквівалентна схема заміщення ізоляції устаткування представлена на рисунку 2.2.

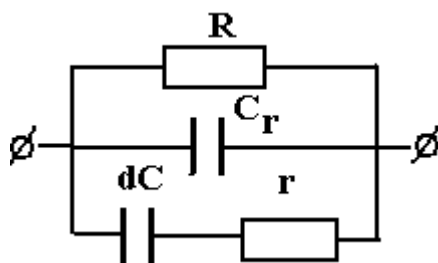


Рисунок 2.2 – Схема заміщення ізоляції устаткування

Опір  $R$  обумовлений протіканням в ізоляції струму витоку. Ємність  $C_r$  – еквівалентна геометричній ємності устаткування, що піддається випробуванню (трансформатор, електродвигун). Величина її, як правило, незначна й перебуває в межах від декількох сотень до декількох тисяч пікофарад. У зв'язку з цим така ємність повністю зарядиться за час обмежений 15 с ( $R''_{15}$ ). Силкові кабелі мають значну геометричну ємність, тому з метою зменшення похибки виміру їх рекомендується відключати від випробувального устаткування.

Послідовний ланцюжок  $dC$  і  $r$  еквівалентний опору ланцюга в результаті протікання абсорбційних струмів. При використанні для ізоляції якісних діелектриків, що не містять домішок і води, для заряду ємності буде потрібно значний проміжок часу. На практиці цей час обмежують 60 с ( $R''_{60}$ ).

У процесі виміру може бути встановлена асиметрія значень опорів, причиною якої з'явиться зволоження й забруднення кінцевих муфт КЛ. Для її усунення використовується просочення.

Значення опору ізоляції КЛ напругою вище 1 кВ не нормується.

## 2.3 Схеми й засоби вимірів

Опір ізоляції визначається зі струму, що проходить через неї, при прикладенні напруги постійного струму. При напругах до декількох кіловольтів для виміру застосовуються мегаомметри. При більш високих напругах використовуються джерела випрямленої напруги, і вимірюється струм провідності – величина, зворотна опору.

Мегаомметр (рис. 2.3) складається із джерела напруги постійного струму й вимірювального приладу, що вимірює струм  $I_x$  через ізоляцію об'єкта. Шкала приладу градується в значеннях опору; для цього напруга джерела  $U$  повинна бути стабільною. Застосовуються й логометричні вимірювачі, показання яких пропорційні частці від ділення напруги на вимірюваний струм. Об'єкт із опором ізоляції  $R_x$  і ємністю  $C_x$  приєднується до виводів « $r_x$ » і «-» мегаомметра. Вивід «Э» призначений для приєднання ланцюгів екранування. Схеми включення мегаомметра – пряма і перевернена: відповідно заземлюються виводи «Э» або «-». Найбільш часто застосовується перевернена схема включення.

Екранування застосовується у випадках, коли необхідно виключити вплив поверхні ізоляційної конструкції або обмежити область контрольованої ізоляції. Для виключення впливу стану поверхні на зовнішній частині ізоляційної конструкції біля електрода, з'єднаного з виводом « $r_x$ » мегаомметра, установлюється екрануюче кільце з м'якого проводу, яке з'єднується з виводом «Э». Для обмеження контрольованої області ізоляції потенціал екрана мегаомметра подається на відповідний електрод (рис. 2.4).

Опір, включений між виводами «Э» й « $r_x$ » ( $R_n$ , див. рис. 2.3), у схемах з екрануванням шунтує вимірювальний елемент мегаомметра, чим може внести неприпустиму похибку у виміри. Найменше припустиме значення цього опору нормується; воно не повинне бути менше 1% кінцевого (найбільшого) значення шкали на даній межі вимірів. Бажано щоб опір ланцюгів екранування в 50-100 разів було більше, ніж опір вимірювального елемента мегаомметра (резистор  $R_o$ , див. рис. 2.3).

Як вимірювальний елемент у більшості мегаомметрів використовується вольтметр, що вимірює спадання напруги  $U_o$  на зразковому резисторі  $R_o$  від вимірюваного струму (рис. 2.5, а). Цей резистор служить і для зміни меж виміру. Шкала приладу, що вимірює напругу  $U_o$ , градуйована в одиницях опору.

У сучасних мегаомметрах застосовуються вимірники струму на операційних підсилювачах, які дозволяють реалізувати логометричні схеми вимірів. У такій схемі (рис. 2.5, б) струм на виході операційного підсилювача  $DA_1$  визначається струмом  $I_x$  об'єкта, а струм на виході другого підсилювача  $DA_2$  – струмом  $I_u$ , пропорційним напрузі  $U$ . Підсилювачі виконані що логарифмуючими і вимірювана приладом різниця їхніх струмів не залежить від напруги; шкала приладу – логарифмічна.

Основні характеристики мегаомметрів наведені в таблиці 3 Додатка.

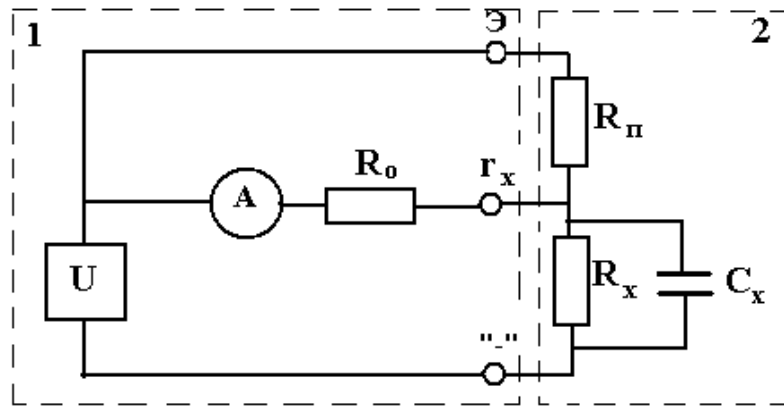


Рисунок 2.3 – Схема вимірів мегаомметром:  
1 – засіб вимірів; 2 – об'єкт;  
U – джерело напруги, A – вимірник струму

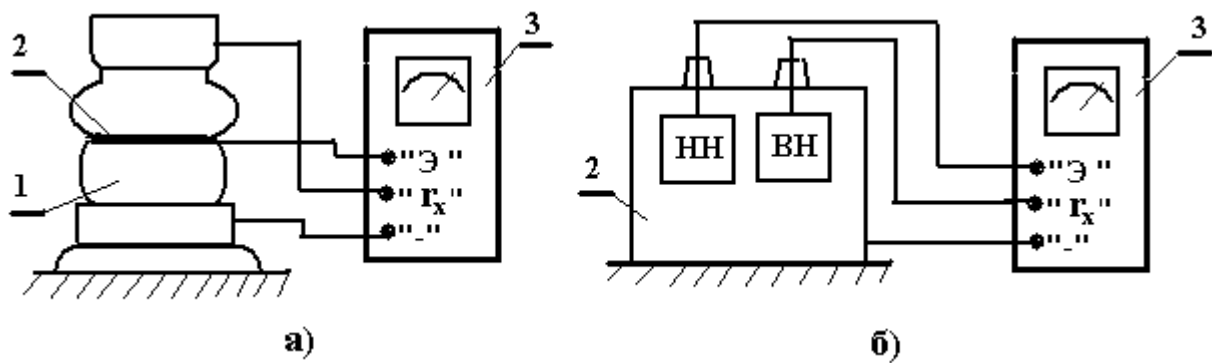


Рисунок 2.4 – Екранування при вимірі опору ізоляції:  
а – виключення впливу поверхні ізоляції;  
б – виключення впливу ізоляції обмотки НН трансформатора;  
1 – об'єкт; 2 – екранне кільце (бандаж); 3 – мегаомметр

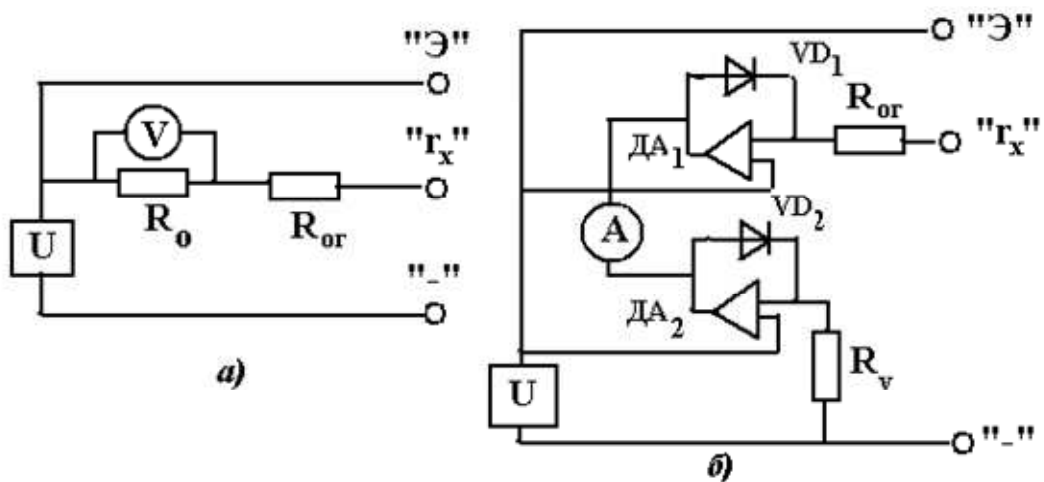


Рисунок 2.5 – Структурні схеми мегаомметрів

## 2.4 Прилади й устаткування

У лабораторній роботі для виміру опору ізоляції силового кабелю використається мегаомметр Ф4102/2-1М. Діапазон вимірів опору ізоляції, значення напруги на затискачах приладу при розімкнутому зовнішньому ланцюзі й ділянки діапазонів з відносною погрішністю, що не перевищує 15%, наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики мегаомметра Ф4102/2-1М

Умовне позначення мегаомметра	Діапазон вимірів опору ізоляції, не менш, МОм	Ділянки діапазону з межею, припустимої значення відносної погрішності 15%, МОм	Напруга, В
Ф4102/2-1М	0-2000	75-1000	1000 ± 50
	0-20000	750-4000	
	0-5000	187,5-2500	2500 ± 122,5
	0-50000	1875-10000	

Клас точності приладу 1,5 відповідно до ГОСТ 8.401-80. Межа основної, наведеної погрішності дорівнює  $\pm 1,5\%$  від довжини шкали. Довжина шкали не менш 88 мм.

Межа припустимого значення додаткової погрішності, викликаній протіканням по схемі виміру струмів промислової частоти не перевищуючих 350 мкА (при вимірювальних напругах 500, 1000 й 2500 В) дорівнює межі припустимого значення основної погрішності.

Час установлення показань приладу не перевищує 8 с.

Час заряду ємності об'єкта, величиною не більше 0,5 мкф, не перевищує 15 с.

Час установлення робочого режиму становить 4 с.

Режим мегаомметра переривчастий: вимір – більше 1 хв, пауза – не менш 2 хв.

Живлення мегаомметра може здійснюватись від мережі змінного струму напругою 220 В частотою 50 Гц. А також від хімічних джерел постійного струму, що вбудовують, (9 елементів А373). Вбудоване джерело живлення до зміни батарей у нормальних умовах експлуатації може забезпечити до 250 вимірів при проведенні не більше 50 вимірів у день.

Мегаомметр має світлову індикацію. Про включення і подачі високої напруги сигналізує індикатор ВН, а для контролю працездатності хімічних джерел струму – індикатор КП.

Мегаомметр зберігає працездатність при температурах навколишнього повітря від мінус 30 до плюс 50 °С і відносної вологості 90% при температурі плюс 30 °С.

Робоче положення – горизонтальне розташування площини шкали.

На передній панелі розташовані: відліковий пристрій; затискачі для підключення вимірюваного об'єкта; органи керування; індикатори ВН і КП; розетка для підключення шнура при живленні від мережі.

На нижній панелі розташований відсік для розміщення мережного блоку живлення або хімічних джерел струму.

## 2.5 Вказівка заходів безпеки

***УВАГА! Не виконуйте вимірів, не переконавшись у відсутності напруги на вимірюваному об'єкті.***

При проведенні вимірів опору ізоляції повинні виконуватися вимоги безпеки, викладені в «Правилах технічної експлуатації електроустановок споживачів і правилах техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів».

## 2.6 Порядок виконання роботи

1. Зняти кришку приладу й закріпити її на бічній стінці в передбачених гніздах.
2. У відсік живлення встановити мережний блок живлення – при живленні від мережі або 9 елементів АЗ73 – при живленні від хімічного джерела струму.
3. До клеми « - » підключити шнур сполучний № 1, до клеми з охоронним кільцем і до клеми  $\Theta$  підключити шнур сполучний № 7 відповідно до маркування.
4. Коректором вимірювального механізму встановити показчик на оцінку « $\infty$ ».

5. Установити перемикач вимірювальних напруг у положення, що зазначене викладачем. При розімкнутих затискачах « $r_x$ », нажати кнопку «ВИМІР І» й установити ручкою «УСТАН.  $\infty$ » показчик мегаомметра на оцінку « $\infty$ ».

6. Замкнути затискачі « $r_x$ », нажати кнопку «ВИМІР І» й установити ручкою «УСТАН. 0» показчик приладу на оцінку «0», а потім, нажавши обидві кнопки «ВИМІР ІІ», перевірити установку показчика на оцінку «0». У випадку відхилення показчика від оцінки «0», установити показчик у першому й у другому випадку так, щоб оцінка «0» виявилася посередині цих двох показань.

Допускаються операції, зазначені в п.п. 5 й 6 проводити окремо по шкалі І і по шкалі ІІ.

7. Переконавшись у відсутності напруги на об'єкті, підключити об'єкт, зазначений викладачем до затискачів « $r_x$ ». При необхідності екранування, для зменшення впливу струмів витоку, екран об'єкта приєднати до затискача «Э» сполучним шнуром № 4.

8. Для проведення вимірів нажати кнопку «ВИМІР І», подавши тим самим на об'єкт високу напругу. На час виміру тримати кнопку натиснутою. Після встановлення показчика зробити відлік значення вимірюваного опору по шкалі І. Результати виміру записати в таблицю 2.2.

При необхідності проведення вимірів з підвищеною точністю, не відпускаючи кнопку «ВИМІР І», нажати кнопку «ВИМІР ІІ» і зробити відлік вимірюваного опору по шкалі ІІ.

У приладі застосована електрична установка нуля, тому показчик приладу може відхилятися за межі робочої частини шкали й доходити до упору. У зв'язку з малим протидіючим моментом розтяжки приладу іноді спостерігається «прилипання» показчика до упору, що усувається легким постукуванням по корпусу приладу.

Загоряння індикатора КП свідчить про необхідність заміни хімічних джерел струму. При живленні від мережі допускається світіння індикатора КП.

Таблиця 2.2 – Результати експериментальних і розрахункових значень

Робочий режим							Примітка
$R_{AO}$	$R_{BO}$	$R_{CO}$	$R_{AB}$	$R_{BC}$	$R_{CA}$	$K_{abc}$	
Аварійний режим							
$R_{AO}$	$R_{BO}$	$R_{CO}$	$R_{AB}$	$R_{BC}$	$R_{CA}$	$K_{abc}$	

### Контрольні запитання

1. Укажіть умови, при яких у силових кабелях не роблять вимір опору ізоляції.
2. Приведіть визначення коефіцієнта абсорбції й укажіть, у яких межах він змінюється.
3. Пояснить, як необхідно проводити вимір опору ізоляції з підвищеною точністю?
4. Перелічіть марки приладів, які використовуються для виміру опору ізоляції.
5. Укажіть фактори, що роблять вплив на величину вимірюваного опору ізоляції.
6. Приведіть електричну схему заміщення ізоляції.
7. Укажіть способи зменшення погрішності виміру ізоляції.

Література: [2].

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 ВИЗНАЧЕННЯ ВИДУ Й МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ В КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЯХ ПЕТЛЬОВИМИ МЕТОДАМИ

### 3.1 Ціль роботи

Вивчити методику визначення характеру й місця пошкодження кабельних ліній за допомогою петльових методів. Одержати навички експлуатації приладів, які застосовуються для визначення місця пошкодження.

### 3.2 Загальні відомості

Роботи з визначення місць пошкодження (ВМП) підрозділяються на наступні три етапи:

- діагностика ушкодження, тобто визначення характеру пошкодження кабелю. На цьому етапі ВМП установлюється необхідність попереднього пропалювання;
- визначення зони передбачуваного пошкодження одним з відносних методів;
- уточнення місцезнаходження пошкодження одним з абсолютних методів.

Метод ВМП кабельної лінії вибирається залежно від характеру пошкодження. Пошкодження кабелю можуть бути підрозділені на наступні види:

- пошкодження ізоляції, що викликає замикання однієї фази на землю;
- пошкодження ізоляції, що викликає замикання двох або трьох фаз на землю або двох або трьох фаз між собою;
- обрив однієї, двох і трьох фаз (із заземленням або без заземлення фаз);
- запливаючий пробій ізоляції;
- складні пошкодження, що представляють комбінації з вищезгаданих видів пошкоджень.

Для встановлення характеру пошкодження кабельної лінії треба:

- виміряти опір ізоляції кожної струмоведучої жили стосовно землі;
- виміряти опір ізоляції між парою струмоведучих жил;
- виміряти електричний опір струмоведучих жил;
- визначити цілісність (відсутність обриву) струмоведучих жил.

***Виміри виконуються на кабельній лінії, що відключена від джерела живлення й від неї відключені всі електроприймачі.***

Вимір опору ізоляції рекомендується робити мегаметром на напругу 1000 В, або 2500 В.

Для виміру електричного опору струмоведучих жил можуть використовуватися мости постійного струму. У тому випадку, якщо температура  $T$  при вимірах відрізняється від  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то після виміру виконується перерахунок опору на температуру  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$R_{20} = \frac{R_x}{1 + \text{TKp}(T - 20)}, \quad (3.1)$$

де  $\text{TKp}$  – середнє значення температурного коефіцієнта питомого опору.

Отримане значення опору використовується для визначення довжини досліджуваної ділянки кабелю

$$L = \frac{RS}{k\rho}, \quad (3.2)$$

де  $\rho$  – питомий електричний опір матеріалу, з якого виготовлена струмоведуча жила;

$k$  – коефіцієнт, що враховує вплив скрутки провідників у жилі ( $k \approx 1,02-1,03$ );

$S$  – переріз жили.

Чисельні значення геометричних параметрів секторних алюмінієвих жил наведені у таблиці 4 Додатка.

Після визначення характеру пошкодження кабельної лінії вибирається метод для визначення місця пошкодження в даному конкретному випадку. Рекомендується в першу чергу визначити зону, у якій розташоване пошкодження. Визначення зони пошкодження виконується одним з наступних відносних методів: імпульсним (локаційним), коливального розряду (хвильовим) або петльовим.

У цій лабораторній роботі визначення місця пошкодження кабельної лінії виконується петльовим методом, який заснований на тому, що пошкоджена і здорова жили кабелю з'єднуються накоротко з однієї сторони (утвориться петля), а з іншої сторони – до кінців жил приєднуються додаткові регульовані резистори – створю-



ється схема моста. Для користування методом петлі необхідно мати хоча б одну неушкоджену жилу кабелю або хоча б одну жилу з перехідним опором, значно більшим перехідних опорів двох інших жил (в 10-100 разів). Значення перехідного опору жили повинне бути не більше 5000 Ом. При більших значеннях стійких перехідних опорів можна застосувати міст високої напруги звичайного реохордного типу, керування яким виконується за допомогою ізолюючої штанги.

Методом петлі надійно перевіряються однофазні й двофазні замикання сталого характеру. Трифазні замикання визначаються при наявності додаткового проводу, в якості якого може бути використаний паралельно прокладений кабель.

Відомі методи визначення місця пошкодження за схемою петлі Муррея й петлі Варлея.

Метод петлі Муррея (рис. 3.1) застосовується, якщо в певному місці одна з жил кабелю замикається на іншу або на оболонку через перехідний опір, величина якого не перевищує  $10^4$  Ом.

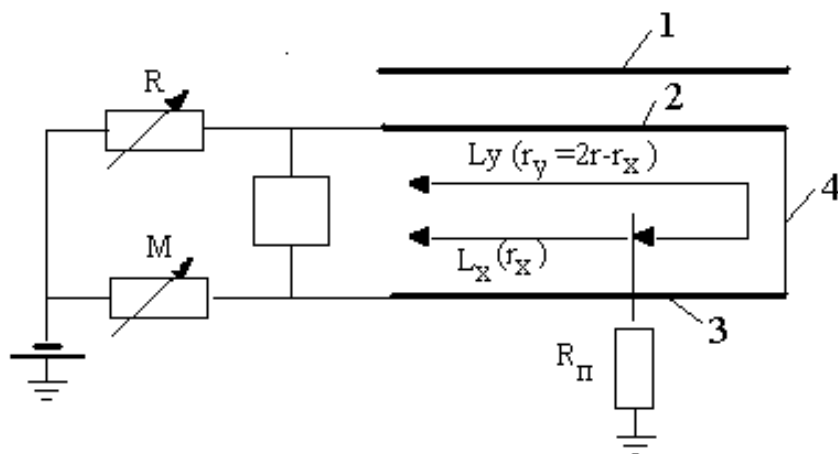


Рисунок 3.1 – Схема вимірів для визначення відстані до місця пошкодження кабелю методом петлі Муррея:

1, 2, 3 – жили кабелю; 4 – перемичка

Умовою рівноваги моста є:

$$M(2r - r_x) = R \times r_x, \quad r_x = \frac{M \times 2r}{M + R}, \quad (3.3)$$

де  $R$  – опір плеча моста, підключеного до неушкодженої жили;

$M$  – опір плеча моста, підключеного до ушкодженої жили (відлік за декадою відносин);

$r$  – опір жили кабелю;

$r_x$  – опір жили кабелю до місця пошкодження.

При постійному перерізі струмоведучих жил опір відрізків пропорційні довжині відповідних ділянок.

Відстань до місця пошкодження визначається з виразу:

$$L_x = 2L \frac{M}{M + R}, \quad (3.4)$$

де  $L$  – довжина кабельної лінії.

Виміри з визначення місця пошкодження слід робити з обох кінців кабельної лінії, міняючи місце установки перемички.

Оцінити отримані результати можна виходячи з рівності:

$$L_x + L_y = 2L.$$

Погрішність вимірів обчислюється за формулою:

$$\Delta L = \frac{2L - (L_x + L_y)}{2L} \times 100\%. \quad (3.5)$$

Схема вимірів методом петлі Варлея наведена на рисунку 3.2.

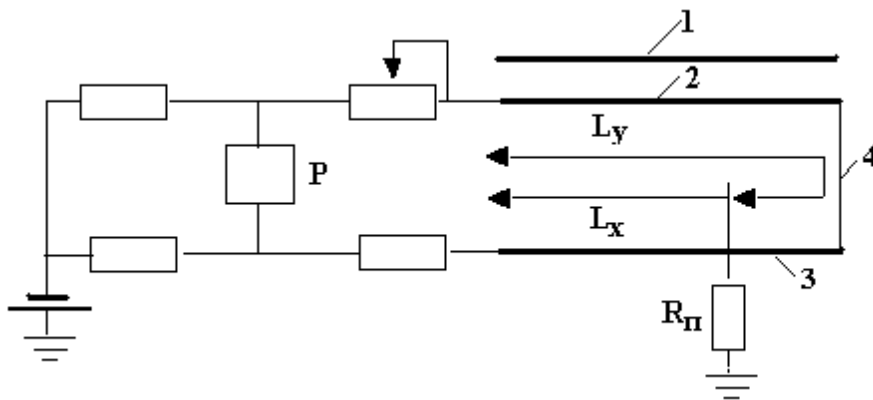


Рисунок 3.2 – Схема вимірів для визначення відстані до місця пошкодження кабелю методом петлі Варлея:

1, 2, 3, – жили кабелю; 4 – перемичка

Результати вимірів визначаються за формулою:

$$r_x = \frac{n(R + r)}{n + 1}, \quad (3.6)$$

де  $r$  – опір двох жил кабелю, Ом;

$R$  – опір плеча порівняння;

$n$  – множник, який встановлюється на декаді моста.

Відстань до місця пошкодження кабелю перебуває з вираження:

$$L_x = \frac{r_x F}{\rho}, \quad (3.7)$$

де  $F$  – перетин струмопровідної жили, мм<sup>2</sup>;

$\rho$  – питомий опір матеріалу жил кабелю, Ом·мм<sup>2</sup>/км.

Виміри також слід робити з обох кінців кабельної лінії, міняючи місце установки перемички.

При обриві струмоведучих жил для визначення місць пошкодження застосовується ємнісний метод, заснований на вимірі ємності жил по відношенню друг до друга або стосовно землі. Схема ємнісного моста наведена на рисунку 3.3.

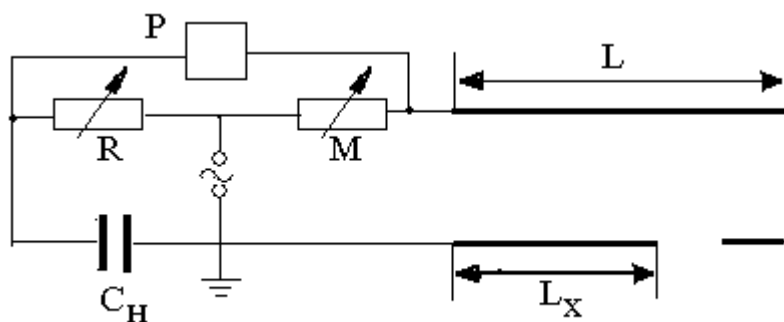


Рисунок 3.3 – Схема вимірів для визначення місця пошкодження ємнісним методом

Умовою рівноваги моста є:

$$C_x = C_n \frac{R}{M},$$

де  $M$  і  $R$  – регульовані опори;

$C_x$  – обумовлена ємність кабельної лінії, мкф;

$C_n$  – еталонний конденсатор, мкф.

На підставі результатів вимірів ємності справної жили  $C_y$  і ємності ушкодженої жили  $C_x$  можна визначити довжину ділянки кабелю

$$L = \frac{C_x + C_y}{2C_{уд}}, \text{ км}, \quad (3.8)$$

де  $C_{уд}$  – питома ємність.

Вимір ємності ділянок кабельної лінії виконується з обох кінців. Відстань від місця виміру до місця обриву жили кабелю визначається з виразу:

$$L_x = 2L \frac{C_2}{C_1 + C_2}, \quad (3.9)$$

де  $C_1$  і  $C_2$  – результати першого й другого виміру, мкф.

### 3.3 Прилади й устаткування

Визначення зони пошкодження кабелю виконується за допомогою спеціальних кабельних мостів типу КМ-61С, Р-333, або вимірювальних мостів Щ 34, Р 3009, Р 4056.

У лабораторній роботі використовують кабельний міст Р-333, який призначений для виміру електричного опору постійного струму в діапазоні від 0,005 Ом до 999900 Ом, а також для визначення місця пошкодження за схемами петлі Муррея й петлі Варлея.

Автоматичний міст Щ 34 використовується для виміру електричного опору постійного струму в діапазоні від  $10^{-3}$  до  $10^9$  Ом. Межа припустимої основної похибки залежно від діапазону вимірів опору не перевищує 0,5%. Результати вимірів відображаються на цифровому табло у вигляді п'ятизначного десятичного числа

з «плаваючою» десятичною комою й одиниці виміру «Р», «К» й «М», де «Р» – Ом, «К» – КОм, «М» – МОм. Прилад має наступні види запуску:

- ручний, здійснюваний натисканням кнопки «Пуск», яка розташована на лицьовій панелі;
- автоматичний, з витримкою часу після кожного виміру від 2 до 20 с за допомогою потенціометра «Час індикації», який розташований на лицьовій панелі;
- дистанційний, здійснюваний замиканням контактів розьому «Щ 20-2», розташованого на задній панелі.

### 3.4 Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему для виміру електричного опору жил кабелю.

2. Визначити марку випробовуваного кабелю й переріз струмопровідних жил.

Результати записати в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати експериментальних і розрахункових значень

Марка кабелю	Площа поперечного перерізу жили, мм <sup>2</sup>	Питомий опір жили кабелю, Ом/км	Опір двох жил кабелю, Ом	Довжина ділянки кабелю, км

3. У присутності викладача включити живлення цифрового омметра Щ 34. Час установлення робочого режиму приладу – 15 хв.

4. Виміряти омичний опір струмопровідних жил і визначити довжину випробовуваного кабелю. Результати записати в таблицю 3.1.

5. Визначити вид пошкодження в силовому кабелі. Результати записати в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати експериментальних і розрахункових значень

R <sub>АО</sub>	R <sub>ВО</sub>	R <sub>СО</sub>	R <sub>АВ</sub>	R <sub>ВС</sub>	R <sub>АС</sub>	Вид пошкодження

6. Зібрати схему для визначення місця пошкодження за схемою петлі Муррея. Для цього до затискачів «R<sub>x</sub>» моста підключити справну й пошкоджену жили кабелю, з'єднавши їх на протилежному кінці. Перемикач (3) моста поставити в положення «ПМ». Підключити заземлення до затискача «Земля». У присутності викладача включити одинарний міст Р-333.

7. Перемикач П 5 установити залежно від величини вимірюваного опору в положення М 1000, М 100 або М 10.

8. Зрівноважити міст поворотом перемикачів П 1 - П 4, натискаючи спочатку кнопки «вкл. гальв», «грубо», а потім «точно».

**УВАГА! Щоб уникнути пошкодження гальванометра не допускається натискати кнопку «точно» не встановивши стрілку гальванометра на нуль при натиснутій кнопці «грубо».**

9. Зробити розрахунок опору й відстані до місця пошкодження за формулами (3.3), (3.4). Результати розрахунку записати в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати експериментальних і розрахункових значень

Петля Муррея					Петля Варлея				
$r_x$	$L_x$	$r_y$	$L_y$	$\Delta L$	$r_x$	$L_x$	$r_y$	$L_y$	$\Delta L$

10. Зробити виміри з п.п. 6-9, установивши перемикач на протилежному кінці кабелю.

11. Оцінити похибку виміру за формулою (3.5).

12. Зібрати схему для визначення місця пошкодження за схемою петлі Варлея. Для цього перемикач установити в положення «ПВ».

13. Установити на декаді П 5 первісне значення  $n = 1$ .

14. Зрівноважити міст поворотом перемикачів П 1 - П 4, натискаючи спочатку кнопки «вкл. гальв», «грубо», а потім «точно».

15. Зробити розрахунок опору і відстані до місця пошкодження за формулами (3.6), (3.7). Результати розрахунку записати в таблицю 3.3.

16. Зробити виміри з п.п. 13-14, встановивши перемикач на протилежному кінці кабелю. Результати вимірів записати в таблицю 3.3.

17. Оцінити похибку виміру за формулою (3.5).

### Контрольні запитання

1. Перелічіть етапи проведення робіт з визначення місця пошкодження силового кабелю.

2. Укажіть види пошкодження силових кабелів.

3. Перелічіть методи визначення місця пошкодження силового кабелю.

4. Опишіть технічні характеристики кабельного моста.

5. Укажіть особливості визначення місця пошкодження з методу «Петлі Муррея».

6. Дайте характеристику ємнісного методу, використаного для визначення місця пошкодження кабельної лінії.

7. Укажіть відмінності визначення місця пошкодження з методу «Петлі Варлея» від методу «Петлі Муррея».

8. Перелічіть недоліки петльових методів визначення місця пошкодження в силових кабелях.

Література: [3].

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

**ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ ПОШКОДЖЕННЯ  
В КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЯХ ІМПУЛЬСНИМ МЕТОДОМ**

**4.1 Ціль роботи**

Вивчити методику визначення відстані до місця пошкодження і його виду в кабельних лініях. Освоїти навички роботи з приладами, застосованими для визначення місця пошкодження імпульсним методом.

**4.2 Загальні відомості**

При підключенні джерела ЕРС до проводу лінії електропередачі процес проникнення електричної енергії в усі більш вилучені від початку ділянки лінії відбувається з кінцевою швидкістю. Характер цього процесу хвильовий: уздовж проводу від його початку до кінця рухається електромагнітна хвиля (ЕМХ). При відсутності в проводі активних втрат і, коли він розташований у вакуумі над ідеальною провідною поверхнею, електромагнітна хвиля переміщається в ньому зі швидкістю світла ( $c = 3 \times 10^8$  м/с). У цьому випадку поширення енергії відбувається строго уздовж проводу, без втрат. Електромагнітна хвиля, що поширюється в такій лінії, називається плоскою.

При розташуванні проводу з активним опором над землею з кінцевою провідністю ЕМХ перестає бути плоскою. Її енергія частково витрачається в проводі і землі, хвилі як би проникають у ці середовища. Форма хвилі, особливо її фронт, спотворюється, і вже не можна говорити про швидкості руху всієї хвилі, тому що окремі частотні її складові переміщаються з різним уповільненням.

Процес поширення хвиль ускладнюється для групи проводів, які розташовані паралельно над поверхнею землі. Підключення ЕРС до одного проводу спричиняє появу напруг і ЕМХ, що рухаються, в інших проводах. Енергія поширюється в просторі, що оточує всі проводи, проникаючи в них і у землю. Процес поширення хвиль залежить від числа, взаємного розташування, матеріалу й розмірів проводів, їхнього видалення від поверхні землі, а також від характеристик останньої. Істотне значення має також частотний діапазон, у якому зосереджена основна частина енергії хвиль, що рухаються. Поширення енергії в різних сукупностях паралельних проводів відбувається як би за певними хвильовими каналами.

Для однорідних ділянок енергія по окремих хвильових каналах поширюється незалежно. У місцях порушення однорідності відбувається перерозподіл енергії між каналами. У загальному випадку в цих місцях виникають відбиті й переломлені хвилі, а також відбувається випромінювання енергії в простір.

Для силових кабелів з металевою зовнішньою оболонкою ЕМХ екранується цією оболонкою й практично в землю не проникає. Характер поширення ЕМХ у КЛ обумовлюється діелектричною проникністю та втратами в ізоляції.

Принцип імпульсних вимірів полягає в тому, що у вимірювану лінію подаються імпульси напруги (зондувальні імпульси), які, поширюючись по лінії, частково відбиваються від неоднорідностей хвильового опору і повертаються до місця, звідки вони були послані. Сигнали, відбиті від неоднорідностей хвильового опору,

будуть зміщені за часом щодо зондувального імпульсу залежно від відстані до неоднорідності. Таким чином, величина зсуву відбитого сигналу щодо зондувального імпульсу на екрані електронно-променевої трубки буде пропорційна відстані до неоднорідності.

Під хвильовим опором лінії розуміють опір, що зустрічає електромагнітна хвиля при своєму поширенні уздовж однорідної лінії без відбиття. Він властивий даному типу лінії й залежить лише від її первинних параметрів, а також частоти струму і постійний в будь-якій точці ланцюга. Для однорідної неспотвореної лінії

$$Z_{\text{в}} = \sqrt{\frac{L_o}{C_o}}, \quad (4.1)$$

де  $L_o$  й  $C_o$  – відповідно індуктивність і ємність лінії, віднесені до одиниці довжини, як правило, до одного кілометра.

Неоднорідність хвильового опору характеризується коефіцієнтом відбиття

$$P = \frac{U_{\text{отр}}}{U_{\text{зонд}}} = \frac{z - \rho}{z + \rho}, \quad (4.2)$$

де  $P$  – коефіцієнт відбиття;

$U_{\text{від}}$  – амплітуда відбитого імпульсу;

$U_{\text{зонд}}$  – амплітуда зонduючого імпульсу;

$z$  – опір у місці пошкодження;

$\rho$  – номінальний хвильовий опір лінії.

Відсутність відбитого сигналу свідчить про точне узгодження лінії по хвильовому опору.

Відбитий імпульс має ту ж полярність, що й зонduючий при збільшенні опору в місці пошкодження, досягаючи граничної амплітуди, рівній амплітуді зондувального імпульсу (повне відбиття) при обриві.

Відбитий імпульс міняє полярність при зменшенні опору лінії, досягаючи граничної амплітуди, рівній амплітуді імпульсу, при короткому замиканні.

Для того, щоб зробити імпульсні виміри максимально об'єктивними, необхідні замальовка або фотографування нормально спостерегаючої характеристики й зіставлення її з картою лінії. Таким чином, здійснюється прив'язка відбитків на екрані до орієнтирів на місцевості, що дозволяє робити відлік не від місця підключення приладу, а від найближчої до місця ушкодження постійно існуючої неоднорідності (кабельної вставки, контрольного стовпа, транспозиції). При наявності зарисованих імпульсних характеристик лінії, що відображають всі їх неоднорідності, місце пошкодження визначається за появою нового сплеску.

Енергія електричних імпульсів поширюється в лінії за певними хвильовими каналами. У коаксіальних кабелях і силових високовольтних кабелях з окремими оболонками для кожної жили є тільки один хвильовий канал «жила - оболонка». У багатожильних кабелях і багатопровідних лініях число хвильових каналів дорівнює числу жил (проводів). Наприклад, у трьохжильному силовому кабелі є три хвильових канали: два канали «жила - жила» і один канал «всі три жили - оболонка».

На однорідних ділянках енергія електричних імпульсів за окремими каналами поширюється незалежно. Це означає, що при підключенні генератора зондувальних імпульсів за схемою «жила-жила» і наявності на якійсь відстані короткого замикання цих жил, у процесі поширення й імпульсних вимірів бере участь тільки один хвильовий канал «жила - жиля». Інші жили й оболонка багатожильного кабелю не беруть участь у поширенні імпульсів.

Якщо ж є коротке замикання однієї з жил на оболонку, то при підключенні генератора зондувальних імпульсів за схемою «пошкоджена жиля – непошкоджена жиля» у поширенні імпульсів беруть участь у трьохжильному кабелі всі три хвильових канали.

Точність імпульсних вимірів в основному визначається правильним вибором величини швидкості поширення імпульсного сигналу у вимірюваній лінії.

Кожна лінія, що має відмінні від іншої первинні параметри (тип діелектрика, переріз, матеріал проводу і т.п.) має свою власну швидкість поширення імпульсного сигналу. У вимірниках забезпечен прямий безпосередній відлік відстані в одиницях довжини з урахуванням швидкості поширення імпульсу в лінії через коефіцієнт укорочення електромагнітної хвилі (ручка «ВКОРОЧЕННЯ»). Величину коефіцієнта вкорочення хвилі для хвильового каналу визначають за формулою:

$$\gamma = \frac{c}{V}, \quad (4.3)$$

де  $c$  – швидкість світла, рівна 300 м/мкс;

$V$  – швидкість поширення імпульсу в даному типі лінії.

Чисельні значення коефіцієнта вкорочення для хвильових каналів кабелів і ліній різних типів наведені в таблицях 5 і 6 Додатка.

При імпульсних вимірах на лініях з невідомим коефіцієнтом укорочення його можна орієнтовно обчислити за формулою:

$$\gamma = \sqrt{\epsilon}, \quad (4.4)$$

де  $\epsilon$  – діелектрична проникність ізоляції кабелю.

### 4.3 Прилади і устаткування

На основі імпульсного методу або, як його часто називають, методу імпульсної рефлектометрії, працюють прилади Р 5-10, Р 5-13, Р 5-17, а також закордонні прилади фірм Tektronix й RiserBond (США), Bicotest (Англія), і німецьких фірм Hegenuk й Seba Dynatron.

Вимірник неоднорідності ліній Р 5-10 призначений для проведення наступних операцій на повітряних і кабельних лініях електропередачі:

виявлення пошкодження й визначення його характеру (обрив, коротке замикання);  
виявлення зосередженої неоднорідності хвильового опору (асиметрія в проводах, порушення контакту, вставки, неоднорідності від різкої зміни опору ізоляції та ін.);  
визначення відстані до пошкодження або неоднорідності.

Вимірник може бути використаний не тільки для виміру на пошкоджених лініях, але й для контролю стану кабелів, прогнозування несправностей у них, виміру їхньої довжини й симетрування.



Мінімальна довжина лінії, з якої можливий перегляд, не перевищує 5 м, однак може бути зведена до мінімуму при підключенні до початку лінії каліброваної вставки довжиною порядку 4-5 м з тим же хвильовим опором.

Принцип роботи даного приладу заснований на тому, що у вимірювану лінію подаються імпульси напруги, які, поширюючись по лінії, частково відбиваються від неоднорідностей хвильового опору й повертаються до місця, звідки вони були послані.

Спрощена структурна схема імпульсного рефлектометра наведена на рисунку 4.1.

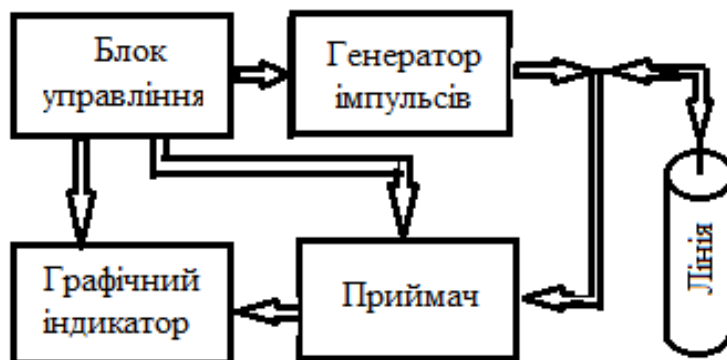


Рисунок 4.1 – Структурна схема імпульсного рефлектометра

Генератор імпульсів виробляє імпульси, що спрямовують у лінію. Відбиті від місця пошкодження й неоднорідностей хвильового опору імпульси надходять у приймач, де здійснюються перетворення над ними. З виходу приймача перетворені сигнали надходять на графічний індикатор. Керування роботою приладу здійснює блок керування.

На рисунку 4.2 показані приклади приєднання імпульсного вимірника до лінії з різними видами пошкодження.

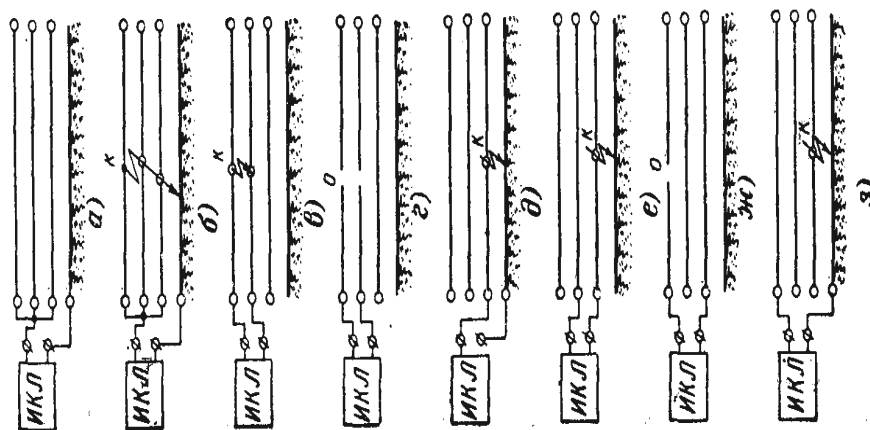


Рисунок 4.2 – Підключення імпульсного вимірника

При підключенні приладу по схемах, приведених на рисунках 4.2а і 4.2б імпульси посилають у лінію тільки по нульовому каналу, і по ньому ж повертаються

відбиті імпульси від кінця й від місця пошкодження. При схемах рисунків 4.2в і 4.2г послідовність імпульсів відбувається тільки по міжжильному каналу й по ньому ж повертаються відбиті від місця короткого замикання (рис. 4.2, в) і обриву (рис. 4.2, г) імпульси. При схемі, наведеної на рисунку 4.2д, прилад приєднується за схемою «жила - оболонка», і при цьому зондувальні й відбиті імпульси поширюються як по нульовому, так і по міжжильному каналах. Наявність взаємних хвильових опорів жил обумовлює в цьому випадку появу імпульсів в інших двох жилах кабелю.

При схемах рисунків 4.2е і 4.2ж зондувальні імпульси посилюються по міжжильному каналу. Однак у місці к. з. (рис. 4.2, е) або обриву (рис. 4.2, ж) виникають нульові складові імпульсу, що у свою чергу викликає появу відбитих імпульсів в обох каналах.

Таким чином, місце однофазного замикання (або обриву) можна точно й надійно вимірювати при включенні приладу між пошкодженою й непошкодженою жилами. У зв'язку з тим, що по нульовому каналу загасання імпульсу відбувається в багато разів інтенсивніше, ніж при поширенні по міжжильному каналу, підключати прилад доцільно між жилами. Перегляд же лінії для виявлення виду ушкодження потрібно робити як між жилами, так і між жилами й оболонкою.

Схема, зображена на рисунку 4.2з, не рекомендується для вимірів і наведена як приклад, що показує вплив пошкодження однієї з жил на виміри по іншій жилі. При посиленні зондувальних імпульсів за схемою «неушкоджена жила - земля» імпульси поширюються по всіх трьох жилах (по обох каналах). Відбиття в місці к. з. на одній з жил перерозподіляє складові імпульсів і викликає появу невеликого відбитого імпульсу і у жилі, по якій ведеться вимір. Це відбиття на екрані приладу відповідає відстані до місця пошкодження. Тому вимір довжини лінії, що має одну ушкоджену жилу, доцільно проводити за схемою «жила - жила» з використанням обох неушкоджених жил.

Реакція лінії на зондувальний імпульс відображається на графічному індикаторі. Вид відбитого сигналу залежить від характеру пошкодження або неоднорідності. Наприклад, при обриві на рисунку 4.3 відбитий імпульс має ту ж полярність, що й зондувальний, а при короткому замиканні на рисунку 4.4 відбитий імпульс змінює полярність.

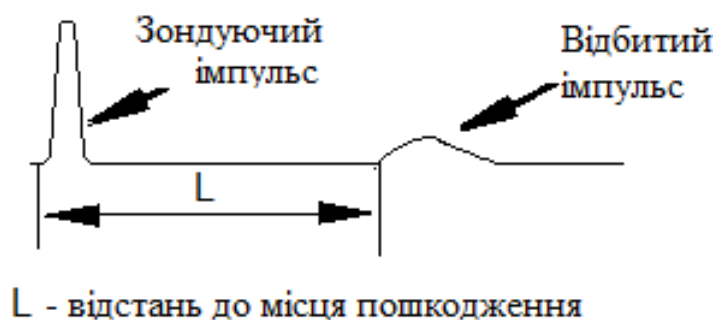


Рисунок 4.3 – Рефлектограма лінії при обриві

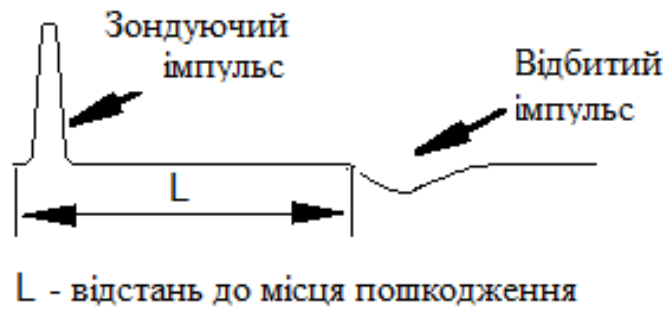


Рисунок 4.4 – Рефлектограма лінії при короткому замиканні

В ідеальному випадку, коли відбиття від пошкодження повне й загасання відсутнє, амплітуда відбитого сигналу дорівнює амплітуді зондувального імпульсу.

### Вказівки мер безпеки

*Всі виміри повинні виконуватись на відключеній по обидва боки лінії. Щоб уникнути виходу вимірника з ладу, необхідно попередньо розрядити лінію, замкнувши жили між собою й на заземлюючий пристрій.*

*Перед включенням вимірника необхідно заземлити затискач захисного заземлення на блоці живлення.*

*Заземлення робити до інших з'єднань вимірника, а від'єднання затискача захисного заземлення робити після всіх від'єднань.*

### 4.4 Порядок виконання роботи

1. Зробити зовнішній огляд приладу й переконатися у відсутності механічних пошкоджень і несправностей.
2. Здійснити заземлення приладу.
3. Встановити органи керування у вихідне положення:  
ПОСИЛЕННЯ – у крайнє ліве положення;  
ВІДСТАНЬ – «0»;  
УСТ. ВІДЛІКУ – у крайнє ліве положення;  
КОМПЕНС. – у крайнє ліве положення;  
ручку керування яскравістю в крайнє ліве положення.
4. Підключить за допомогою відповідного кабелю вимірник до зовнішнього ланцюга.
5. У присутності викладача включить тумблер МЕРЕЖА на блоці живлення. Після включення тумблера МЕРЕЖА на блоці живлення повинна загорітися сигнальна лампочка.
6. Включить тумблер ЖИВЛЕННЯ на передній панелі приладу, при цьому повинна зайнятися сигнальна лампа.
7. Відрегулюйте відповідними ручками яскравість, фокусування й положення луча на екрані електронно-променевої трубки (ЕПТ). Положення лінії розгорнення луча повинне бути на середині екрана трубки.
8. Плавним обертанням ручки УСТ. ВІДЛІКУ вправо потрібно домогтися появи на екрані зондувального імпульсу.

9. До роз'єму ВХІД - ВИХІД на лівій панелі вимірника підключіть сполучний кабель; до роз'єму сполучного кабелю – приєднувальний кабель або блок вхідних ланцюгів.

10. Залежно від довжини вимірюваних ліній робота виконується на одному з наступних діапазонів виміру, які вибираються перемикачем ДІАПАЗОНИ: 0,3 км; 1 км; 3 км; 10 км; 30 км; 100 км; 90 км; 300 км. Результат виміру відстані буде більш точним, якщо відлік виконується наприкінці діапазону виміру.

11. Установіть ручку ЗОНД. ІМП. у положення:

«0,05; 0,1; 0,3» при довжині вимірюваної лінії до 10 км;

«0,1; 0,3; 1; 3» при довжині вимірюваної лінії до 30 км;

«1; 3; 10; 30» при довжині вимірюваної лінії до 300 км.

12. Установіть ручку ВИХ. ОПІР – на величину хвильового опору вимірюваної лінії. Наближені значення вихідного опору визначаються кольоровими секторами, нанесеними на передній панелі приладу під ручкою ВИХ. ОПІР. Світлому сектору відповідає вихідний опір від 20 до 100 Ом; сірому – від 100 до 250 Ом; темно-сірому – від 250 до 500 Ом.

13. Підключіть приєднувальний кабель до вимірюваної лінії.

14. Установіть ручку ОБЩ. - РАЗД. на лівій панелі приладу в положення ОБЩ. 1 – у випадку вимірів на одній парі й вимірів по методу послідовного порівняння або в положення РАЗД. – у випадку вимірів по методу переходу енергії.

15. Установіть ручку ВКОРОЧЕННЯ в положення, що відповідає значенню коефіцієнта вкорочення вимірюваного типу кабелю. Значення коефіцієнта вкорочення кабелів типу СБ, ОСБ дорівнює 1,87, хвильовий опір – 25-35 Ом.

16. Відповідно до вказівок викладача виконайте на досліджуваному кабелі наступні виміри:

- визначите відстані до неоднорідності (пошкодження) несиметричного кабелю;
- проведіть вимір тимчасової затримки;
- виконайте послідовне порівняння трьох жил;
- проведіть вимір по методу переходу енергії;
- виконайте дослідження складних пошкоджень перепадом напруги (вимір протяжних кабельних вставок і будівельних довжин, виміру на лініях з відгалуженнями, виміру при плавній зміні хвильового опору при влученні вологи в кабель та ін.).

17. Для визначення відстані до місця пошкодження виконуєте наступні дії:

- установіть перемикач П 2 на перехідний опір рівний нулю;
- ручкою «УСТ. ВІДЛІКУ» поєднайте передній фронт зондувального імпульсу з однієї з рисок шкали ЕПТ;
- замалюйте імпульсну характеристику на кальку;
- ручкою «ВІДСТАНЬ» зробіть суміщення початку фронту знайденого сплеску імпульсної характеристики (відбитого імпульсу) з відліковою рисою шкали (з тієї, з якої виконувалось сполучення зондувального імпульсу);
- за показниками ручки «ВІДСТАНЬ» зробіть відлік відстані (в отриманий результат входить довжина сполучного кабелю);
- складіть карту лінії (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Результати експериментальних і розрахункових значень

Параметри	Вид пошкодження									
	Коротке замикання					Обрив				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Відстань до місця пошкодження, км										
Тривалість імпульсу (положення ручки ЗОНД. ІМП., $\mu$ s)										
Величина вихідного опору (положення ручки ВИХ. ОПР)										
Діапазон вимірів (положення ручки ДІАПАЗОНИ, км)										

18. Проведіть дослідження залежності тривалості відбитого імпульсу при короткому замиканні жили на землю й обриві від відстані до місця пошкодження. Для цього перемикачем П 1 по черзі встановити режим короткого замикання й для кожного випадку виміряти відносну тривалість відбитого імпульсу (тривалість імпульсу короткого замикання ближнього до точки виміру прийняти за одиницю). Результати вимірів записати в таблицю 4.2.

19. Провести аналогічні виміри по п. 17 для режиму «обрив лінії». Місце обриву змінювати за допомогою тумблерів  $S_1 - S_{10}$ . Результати вимірів записати в таблицю 4.2.

20. Проведіть дослідження залежності величини амплітуди відбитого сигналу від відстані до місця пошкодження. Амплітуду імпульсу ближнього до місця пошкодження прийняти за одиницю. Результати вимірів записати в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати експериментальних і розрахункових значень

Параметри	Вид пошкодження									
	Коротке замикання					Обрив				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тривалість імпульсу у відносних одиницях										
Амплітуда відбитого сигналу у відносних одиницях										
Тривалість імпульсу у відносних одиницях										
Амплітуда відбитого сигналу у відносних одиницях										

21. Побудувати графіки залежності тривалості імпульсу від відстані до місця пошкодження при різних видах пошкоджень.

22. Побудувати графік залежності амплітуди відбитого сигналу від відстані до місця пошкодження.

### Контрольні запитання

1. Поясніть сутність імпульсного методу визначення місця пошкодження.
2. Перелічіть види робіт, які можна виконувати за допомогою вимірника неоднорідності ліній.

3. Перелічіть види неоднорідностей, які можуть мати місце в кабельних лініях.
4. Поясніть, коли при використанні імпульсного методу відсутній відбитий сигнал.
5. Укажіть причини, що впливають на похибку вимірів, проведених імпульсним методом.
6. Перелічіть хвильові канали, по яких може поширюватися електромагнітна хвиля в силовому кабелі.
7. Перелічіть хвильові канали, по яких може поширюватися електромагнітна хвиля в повітряній лінії електропередачі.
8. Укажіть за допомогою якого параметра можна оцінити неоднорідність хвильового опору.
9. Поясніть, як визначити коефіцієнт укорочення електромагнітної хвилі.
10. Поясніть, що таке хвильовий опір і як він визначається.

Література: [3].

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### АВАРІЙНІ РЕЖИМИ В МІСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

#### 5.1 Ціль роботи

Вивчити вплив можливих аварійних режимів на характеристики електричних мереж, а також методи їхнього захисту.

#### 5.2 Загальні положення

Електроустановки змінної напруги до 1000 В, які використовуються в міських електричних мережах можуть працювати як з ізолюваною, так і із глухо заземленою нейтраллю.

Критеріями вибору режиму нейтралі в установках до 1000 В є економічність, надійність і безпека.

До достоїнств електроустановок з ізолюваною нейтраллю слід віднести, що при пошкодженні ізоляції в одній з фаз і замиканні її на землю немає необхідності в терміновому відключенні пошкодженої ділянки, якщо це не викликано іншими вимогами, наприклад, вибухо- і пожежобезпекою. Крім того, в схемах релейного захисту досить установлювати тільки два трансформатори струму й два струмових реле, що підвищує техніко-економічні показники пристрою контролю ізоляції.

Однак тривала, більше двох годин, робота електроустановки не допускається, тому що напруга на двох інших фазах стосовно землі підвищується в 1,7 рази, що може привести до двофазного замикання на землю з більшими струмами КЗ.

У системах із глухозаземленою нейтраллю пошкодження ізоляції, що супроводжується замиканням на землю, приводить до негайного відключення пошкод-

женої ділянки. У зв'язку з цим, електроустановки із глухозаземленою нейтраллю з погляду надійності електропостачання менш надійні, чим установки з ізольованою нейтраллю.

Відповідно до ПУЕ в трифазних системах живлення напругою 220 й 380 В допускається застосовувати як ізольовану, так і глухозаземлену нейтраль. З погляду безпеки обслуговуючого персоналу доцільно використовувати глухе заземлення нейтралі, щоб виключити значне підвищення напруги при виникненні замикання на землю.

В електричних установках вище 1000 В може використовуватись ізольована нейтраль, глухозаземлена нейтраль і нейтраль заземлена на землю через дугогасящий пристрій. Установки, в яких струм однофазного замикання на землю не перевищує 500 А називають установками з малими струмами замикання на землю. Якщо струм однофазного замикання на землю перевищує 500 А, то такі установки відносяться до установок з великими струмами замикання на землю.

Системи з ізольованою нейтраллю напругою вище 1000 В відносяться до установок з малими струмами замикання на землю. При однофазному замиканні на землю однієї з фаз лінійні напруги залишаються практично незмінними за значенням і зрушеними на  $120^\circ$ , а напруги інших фаз стосовно землі збільшуються в 1,7 рази. У зв'язку з цим всі приймачі, підключені на лінійну напругу продовжують працювати в нормальному режимі.

Однак збільшення ймовірності виникнення двофазного КЗ при тривалій роботі в режимі однофазного замикання викликає необхідність використовувати пристрої контролю ізоляції. Для забезпечення надійної роботи електроустаткування в системах з ізольованою нейтраллю струми однофазного замикання на землю рекомендується обмежувати в наступних межах: у мережах напругою 35 кВ - 10 А, напругою 20 кВ - 15 А, напрузі 10 кВ - 20 А и при напрузі 6 кВ - 30 А.

Для зменшення ємнісних струмів при однофазному замиканні на землю застосовуються компенсуючі пристрої, які включаються між нейтраллю установки і землею. При однофазному КЗ пристрій, що компенсує, виявляється підключеним на фазну напругу й через місце замикання на землю протікає ємнісний струм замикання й індуктивний струм пристрою, що компенсує. Тому що ці струми відрізняються за фазою на  $180^\circ$ , то в місці замикання на землю вони компенсують один одного.

У системах напругою 110 кВ і вище застосовується глухе заземлення на землю. У зв'язку з тим, що при однофазному замиканні на землю пошкоджена фаза виявляється короткозамкненою на нейтраль, у цих установках виникають великі струми замикання на землю.

Глухе заземлення нейтралі попереджає виникнення в електроустановках перепадів, що дозволяє знизити рівень ізоляції й відповідно витрати.

### **5.3 Прилади й устаткування**

Для дослідження аварійних режимів у мережах напругою 6-35 кВ використовується модель, схема якої наведена на рисунку 5.1. Досліджувана мережа підключена до трьохфазного трансформатора, зі з'єднанням обмоток високої та низької

напруги відповідно по схемах «зірка» й «трикутник». Як трансформатори напруги 1 Тна, 1 Тнв й 1 Тнс застосовуються три однофазних трансформатори потужністю по 100 В\*А.

#### 5.4 Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему, наведену на рисунку 5.1. Трансформатори напруги включаються за схемою «зірка - зірка».

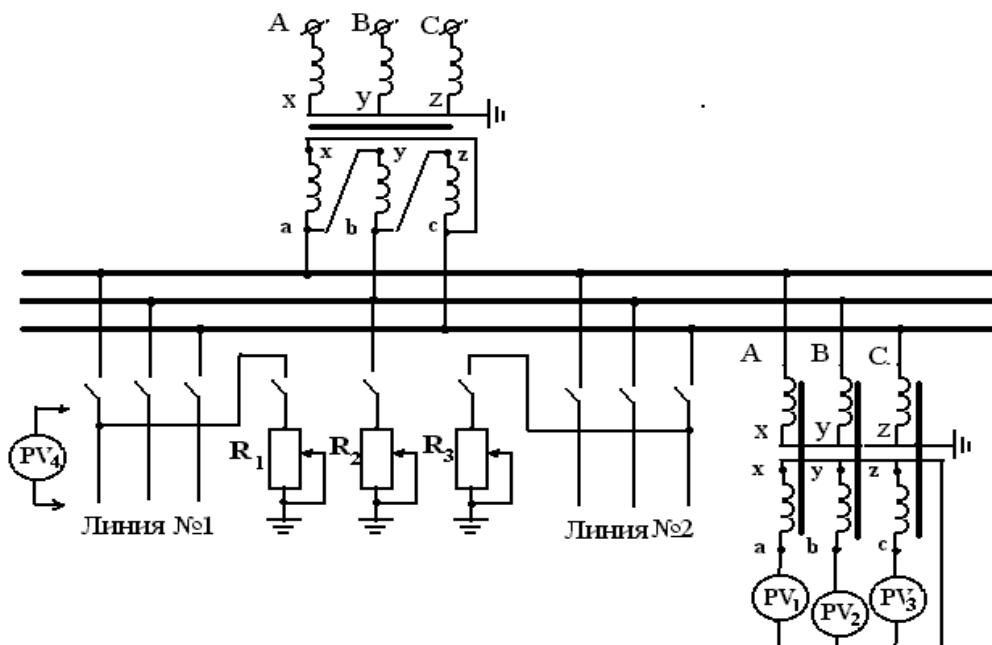


Рисунок 5.1 – Електрична схема імітаційної моделі для дослідження аварійних режимів у мережах з ізольованою нейтраллю

2. У присутності викладача подати напругу на схему.
3. Записати в таблицю 5.1 показання вольтметрів PV1, PV2, PV3.
4. Включити лінії № 1 й № 2 автоматичними вимикачами.
5. Виміряти напругу на лінії № 1. Дані записати в таблицю 5.1.
6. По черзі замкнути рубильники при повністю виведених опорах реостатів R1, R2, R3. Показання вольтметрів записати в таблицю 5.2.
7. Виміряти лінійну й фазну напругу на лінії № 1 при почерговому замиканні рубильників.
8. Для імітації подвійного замикання на землю замкнути рубильники 3У и 5У при повністю уведених реостатах. Записати показання вольтметрів PV1, PV2, PV3 у таблицю 5.3.
9. Повторити виміру по п. 8 при наполовину уведених опорам реостатів. Дані записати в таблицю 5.3.

Таблиця 5.1 – Результати вимірів параметрів мережі в нормальному режимі

На шинах			На лінії № 1		
U <sub>A</sub>	U <sub>B</sub>	U <sub>C</sub>	U <sub>a</sub>	U <sub>b</sub>	U <sub>c</sub>



Таблиця 5.2 – Результати вимірів параметрів мережі в аварійному режимі при однофазному замиканні на землю

На шинах			На лінії № 1					
$U_A$	$U_B$	$U_C$	$U_a$	$U_b$	$U_c$	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$

Таблиця 5.3 – Результати вимірів параметрів мережі в аварійному режимі при двофазному замиканні на землю

На шинах			На лінії № 1					
$U_A$	$U_B$	$U_C$	$U_a$	$U_b$	$U_c$	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$

### Контрольні запитання

1. Пояснить, чому замикання на землю в мережах з ізольованою нейтраллю не впливає на роботу електроприймачів.
2. Укажіть причини, по яких обмежується час роботи мережі з ізольованою нейтраллю при замиканні однієї фази на землю.
3. Перелічіть причини, по яких прагнуть зменшити ймовірність виникнення подвійного замикання на землю в мережах з ізольованою нейтраллю.
4. Укажіть, для яких цілей у нейтралі мережі встановлюється дугогасящий реактор.
5. Поясніть причини, по яких електричні мережі напругою 110 кВ і вище працюють із глухозаземленою нейтраллю.
6. Перелічіть режими роботи нейтралі, які рекомендується застосовувати в електричних мережах напругою до 1000 В.
7. Перелічіть режими роботи нейтралі, які рекомендується застосовувати в електричних мережах напругою вище 1000 В.

Література: [4].

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 ВИЗНАЧЕННЯ ЦІЛОСТІ ЖИЛ КАБЕЛІВ І ФАЗІРОВКА КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ

### 6.1 Ціль роботи

Придбання практичних навичок при виконанні робіт з визначення цілості струмоведучих жил і фазіровки кабельних ліній (КЛ).

### 6.2 Загальні положення

Визначення цілості жил і фазіровка КЛ виконується при введенні в експлуатацію нових електричних ліній, а також після проведення ремонтних робіт на діючих лініях.

Сутність фазіровки полягає у визначенні відповідності фази кабелю, що перебуває під напругою від розподільчого пристрою з передбачуваною однойменною фазою шин розподільчого пристрою, де виконується фазіровка.

Фазовим кутом або просто фазою називається кут, що характеризує певну стадію параметра, що змінюється періодично, зокрема е.р.с.

На практиці під фазою трьохфазної системи розуміють також окрему ділянку трьохфазного ланцюга, по якому проходить один і той же струм, зрушений щодо двох інших по фазі.

Для позначення фаз використовуються прописні букви А, В, С або колірне маркування. Відповідно до ПУЕ при змінному трьохфазному струмі шини фази А забарвлюються в жовті кольори, фази В – у зелені кольори й фази С – у червоні кольори. Шини однофазного струму, якщо вони є відгалуженням від шин трифазної системи, позначаються як відповідні шини трифазного струму.

Провідники захисного заземлення у всіх електроустановках, а також нульові захисні провідники в електроустановках напругою до 1 кВ із глухозаземленою нейтраллю позначаються РЕ й мають колірне позначення поздовжніми або поперечними смугами однакової ширини (15-100 мм) жовтого й зеленого кольорів.

Захисний (РЕ) провідник – це провідник, призначений для цілей електробезпеки.

Нульові робочі (нейтральні) провідники позначаються буквою N і блакитним кольором. Такі провідники в установках до 1 кВ призначені для живлення електроприймачів і з'єднуються з глухо заземленою нейтраллю генератора або трансформатора в мережах трьохфазного струму, з глухозаземленим виводом джерела однофазного струму, або з глухозаземленою точкою джерела в мережах постійного струму.

Суміщений нульовий захисний і нульовий робочий провідник має літерне позначення PEN і колірне позначення блакитного кольору по всій довжині й жовто-зелені смуги на кінцях. Цей провідник в електропроводках до 1 кВ сполучає функції нульового захисного і нульового робочого провідників.

При постійному струмі позитивна шина (+) позначається червоним кольором, негативна (-) – синім і нульова робоча – блакитним кольором.

Трьохфазні системи можуть відрізнятися порядком проходження фаз, під яким розуміється порядок, у якому з.р.с. трьох фаз безупинно проходить через ті самі значення. Розрізняють прямий порядок проходження фаз, при якому виконується послідовність проходження фаз А, В, С і зворотний – А, С, В.

Слід відрізнити терміни «порядок проходження фаз» й «чергування фаз». Під чергуванням фаз розуміють черговість, у якій фази трифазного ланцюга розташовані в просторі. Розташування шин у розподільних пристроях, крім комплектних збірних осередків однобічного обслуговування (КСО) і комплектних розподільних пристроїв (КРУ) 6-10 кВ, а також панелей 0,4-0,69 кВ заводського виготовлення регламентується ПУЕ. Так, у розподільних пристроях 6-220 кВ при змінному трьохфазному струмі збірні й обхідні шини, а також всі види секційних шин розташовуються в наступному порядку:

- а) при горизонтальному розташуванні:  
одна під іншою: зверху вниз А, В, С;

одна за іншою, похило або трикутником: найбільш віддалена шина – А, середня – В, найближча до коридору обслуговування – С;

б) при вертикальному розташуванні (в одній площині або трикутником): зліва направо А-В-С або найбільш віддалена шина А, середня – В, найближча до коридору обслуговування – С;

в) відгалуження від збірних шин, якщо дивитися на шини з коридору обслуговування:

при горизонтальному розташуванні: зліва направо А-В-С;

при вертикальному розташуванні (в одній площині або трикутником): зверху вниз А-В-С.

У п'ятих і чотирьох провідних ланцюгах трифазного змінного струму в електроустановках напругою до 1 кВ передбачається наступне розташування шин:

а) при горизонтальному розташуванні:

одна під іншою: зверху вниз А-В-С-N-PE (PEN);

одна за іншою: найбільш віддалена шина А, потім фази В-С-N, найближча до коридору обслуговування – PE (PEN);

б) при вертикальному розташуванні: зліва направо А-В-С-N-PE(PEN) або найбільш віддалена шина А, потім фази В-С-N, найближча до коридору обслуговування – PE(PEN);

в) відгалуження від збірних шин, якщо дивитися на шини з коридору обслуговування:

при горизонтальному розташуванні: зліва направо А-В-С-N-PE(PEN);

при вертикальному розташуванні: А-В-С-N-PE(PEN) зверху вниз.

Недотримання порядку проходження фаз і чергування фаз приводить до виникнення короткого замикання (к. з.). Розглянемо це на прикладі рисунку 6.1.

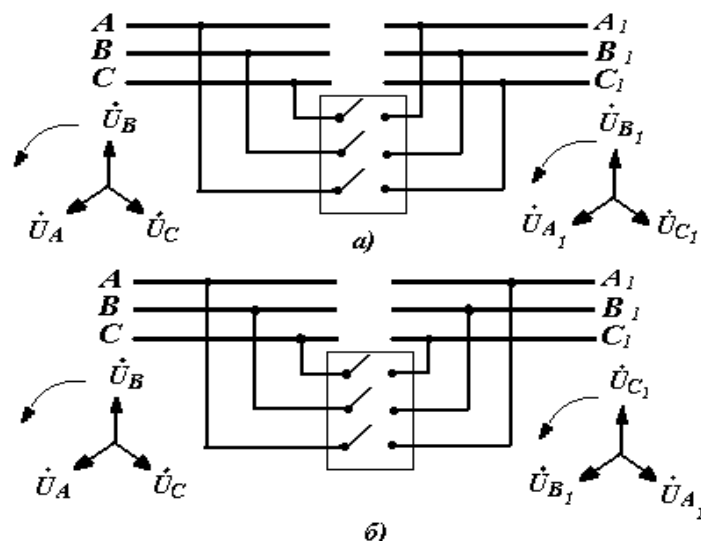


Рисунок 6.1 – Варіанти розбіжності фаз двох електроустановок

На рисунку 6.1а фази однойменних напруг збігаються, а порядок чергування позначень затискачів у вимикача – не збігаються. На рисунку 6.1б навпаки, приведений варіант, коли порядок чергування фаз збігається, а напруги, що фазіруються, виявляються зрушеними по фазі.

Виключити можливість виникнення короткого замикання можливо при збігу, як фаз однойменних напруг, так і порядку їхнього чергування. Варіант такого включення електроустановок наведений на рисунку 6.2.

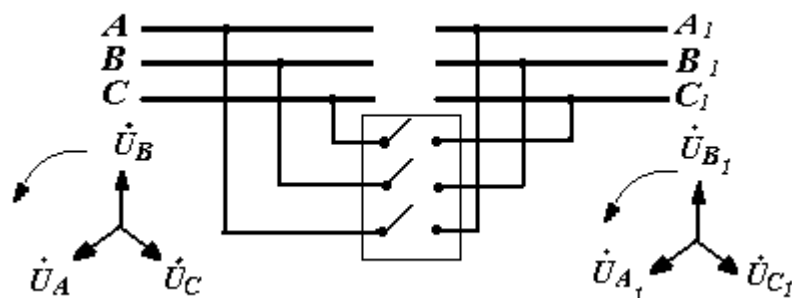


Рисунок 6.2 – Варіант збігу фаз двох електроустановок

Визначення струмів к. з. та перевірка устаткування й ліній по термічній і динамічній стійкості проводиться у відповідності з рекомендаціями ПУЕ.

Допустиме значення струму к. з. для кабельної лінії за умови її термічної стійкості визначається в залежності від матеріалу і перерізу жил кабелів, а також тривалості проходження струму к. з. Переріз  $F$ , при якому провідник має термічну стійкість до струму к. з. при заданому значенні наведеного часу  $t_n$  дорівнює

$$F = I_{\infty} \sqrt{t_n} / C, \quad (6.1)$$

де  $I_{\infty}$  – діюче значення сталого струму к. з., А;

$C$  – термічний коефіцієнт, який визначається за формулою:

$$C = \sqrt{\frac{\gamma_{\text{ж}} C_{\text{ж}} (T_{\text{кз}} - T_{\text{н}})}{0,24\rho \left\{ 1 + \alpha \left[ (T_{\text{н}} - T_0) + \frac{T_{\text{кз}} - T_{\text{н}}}{2} \right] \right\}}}, \quad (6.2)$$

де  $T_{\text{кз}}$  – допустима температура жили при к. з., °С;

$\gamma_{\text{ж}}$  – щільність матеріалу жили, г/см<sup>3</sup>;

$C_{\text{ж}}$  – питома теплоємність жили, Дж/(кг·К);

$\rho$  – питомий опір жили, Ом·см;

$\alpha$  – температурний коефіцієнт матеріалу жили;

$T_{\text{н}}$  – температура нагріву жили в нормальному режимі, °С;

$T_0$  – температура навколишнього середовища, °С.

Значення термічного коефіцієнта  $C$  наведені в таблиці 7 Додатків.

Допустимі значення струмів к. з., для кабелів з паперовою ізоляцією 6-10 кВ і 100% попереднім навантаженням наведені в таблиці 8 Додатків. При розрахунку струмів к. з. у мережах 6-10 кВ наведений час може бути прийнято рівним дійсному.

Зміна маркування затискачів електричних машин і апаратів призводить до зміни режимів їх роботи. Основними схемами з'єднання обмоток електричних машин (двигунів, генераторів, трансформаторів тощо) є зірка і трикутник. Навмисна або випадкова зміна маркування затискачів обмотки призводить до зміни напрямку вектора е.р.с., що наводиться у цій обмотці на протилежне. Такий же результат виходить при зміні напрямку намотування обмотки.

Для того, щоб виключити можливі помилки та систематизувати все різноманіття схем з'єднання обмоток трансформаторів використовується поняття «група з'єднань», яке характеризує кутове зміщення векторів лінійних е.р.с. вторинних обмоток щодо однойменних векторів лінійних е.р.с. первинних обмоток. Група з'єднань позначається числом, яке при множенні на  $30^\circ$  дає кут відставання вектори е.р.с. вторинної обмотки. Якщо, наприклад, схема і група з'єднань трансформатора позначена  $\triangle/\triangle-11$ , то зміщення векторів лінійних е.р.с. дорівнює  $330^\circ$ .

У відповідності з нормативними документами рекомендується застосовувати дві групи з'єднання обмоток трьохфазних двообмоткових трансформаторів: 0 і 11. Однак на практиці можуть зустрічатися 12 груп, а також такі з'єднання, які не можна віднести ні до однієї з груп. Як правило, вони виникають внаслідок помилок, допущених при монтажі і ремонті устаткування.

Вибір методу фазування проводиться при введенні обладнання в роботу і залежить від його виду (лінія, трансформатор, генератор) та класу напруги, на яку воно розраховане. Слід розрізняти прямі і непрямі методи фазування. Прямими методами називаються такі, які використовуються для фазіровки обладнання, що знаходиться під напругою. Використовуються такі методи в установках до 110 кВ. Непрямими називаються методи, в яких фазування проводять за допомогою трансформаторів напруги, які підключені до фазіруємих частин установки. Дані методи можуть застосовуватися в різних установках незалежно від класу її напруги.

### 6.3 Прилади і устаткування

В електричних мережах 0,4 кВ для виконання фазіровки кабеля, що вперше вводиться в експлуатацію, з кабелем, який знаходиться під напругою може бути використаний вольтметр із діапазоном вимірів, розрахованим на подвійну фазну або подвійну лінійну напругу. Схема виконання фазіровки приведена на рисунку 6.3.

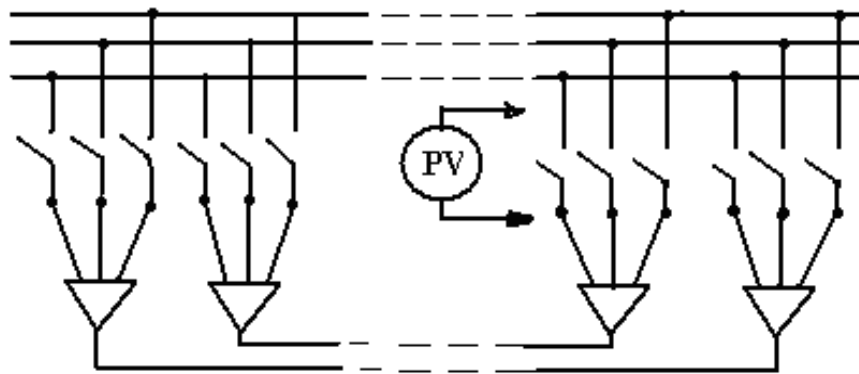


Рисунок 6.3 – Фазіровка силових кабелів в мережах 0,4 кВ за допомогою вольтметра

Кабель, що вводиться в експлуатацію, з одного кінця підключається до шин, а на іншому кінці вимірюється напруга між однойменними фазами діючого й нового кабеля. Фазіровка кабеля виконана правильно в тому випадку, коли напруга між однойменними фазами дорівнює нулю, а між різнойменними фазами дорівнює лінійній напрузі.

При паралельному підключенні двох силових кабелів до включення необхідно переконатися, що підключення виконане відповідно до маркування й між їхніми жилами відсутнє коротке замикання. Така перевірка виконується за допомогою контрольної лампи або мегаомметра за схемою, яка приведена на рисунку 6.4.

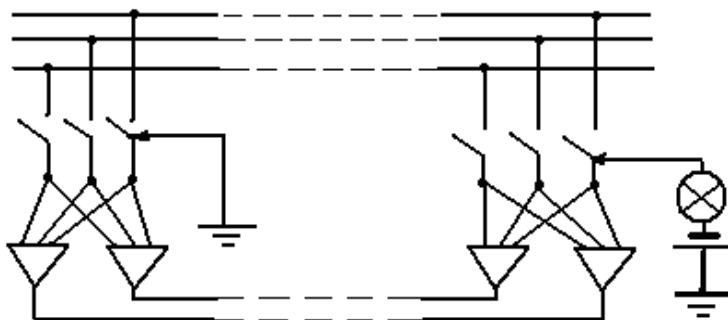


Рисунок 6.4 – Фазіровка двох силових кабелів при відсутності напруги

Мегаомметри також можуть використовуватися для фазіровки силових кабелів. Для цього по черзі заземлюють жили на початку кабелю, а наприкінці, вимірюють опір ізоляції жил щодо землі.

Менш трудомістким є спосіб, що полягає в наступному. З одного кінця силового кабелю одна з жил заземлюється, друга жила заземлюється через опір певної величини (8-10 Мом), а третя жила не заземлюється. На протилежному кінці кабелю вимірюють опір жил щодо землі. За показниками приладу легко визначити послідовність проходження фаз. Опір заземленої жили буде дорівнювати нулю, жили заземленої через опір – величині цього опору, а в незаземленої жили – нескінченно великим.

У мережах з напругою до 500 В для визначення порядку проходження фаз може використатися прилад ФУ-2, принцип дії якого такий же, як в асинхронного двигуна. Прилад містить три обмотки, які розташовані на феромагнітних сердечниках, і алюмінієвий диск. У тому випадку, коли фази досліджуваної мережі збігаються з маркуванням приладу, диск обертається в напрямку, зазначеному стрілкою на корпусі приладу. Таке обертання відповідає прямому порядку проходження фаз. Обертання диска в протилежному напрямку – зворотному порядку проходження фаз.

Універсальний прилад вольтамперфазометр ВАФ-85 дозволяє робити виміри значення величини і фази змінного струму, і напруги частотою 50 Гц, а також визначати правильність проходження фаз. Кут зсуву фаз визначається щодо трифазної системи напруги. Межа припустимої основної похибки приладу при вимірі змінної напруги й струму не перевищує 4%, кута зсуву фаз – 1,5%. Для визначення порядку проходження фаз трифазна напруга підводить до контактних затискачів «А», «В», «С» і віджимається ручка верньєра. При цьому обертання вільної осі фазорегулятора з лімбом по годинниковій стрілці вказує на прямий порядок проходження фаз.

В установках напругою вище 1000 В для виконання фазіровки широко застосовуються покажчики напруги. У комплект покажчика, як правило, входять: власне, покажчик напруги, трубка з додатковими резисторами й сполучний провідник.

Зовнішній вигляд показчика напруги типу УВНФ і схема його підключення при фазіровці в мережах 6-10 кВ показаний на рисунку 6.5.

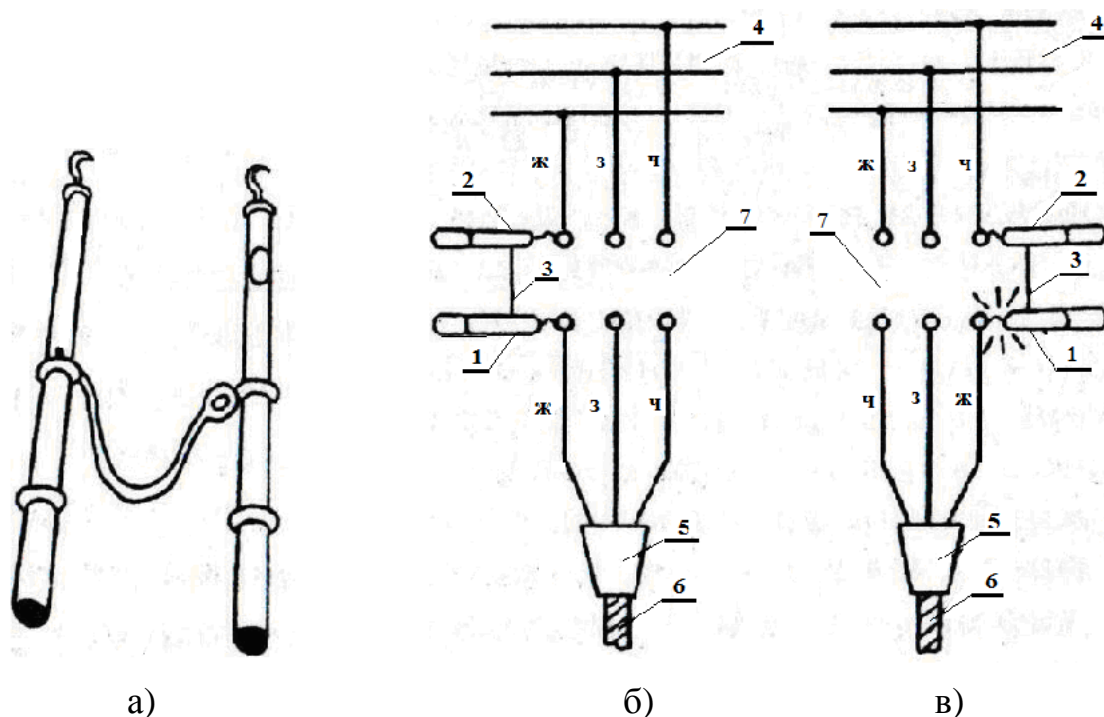


Рисунок 6.5 – Фазіровка КЛ під напругою:

- а – показчик напруги й з'єднана з ним гнучким провідником
- трубка опору; б – відповідність фаз кабелю й шин;
- в – різні фази шин і кабелю в місці приєднання останнього;
- 1 – показчик напруги; 2 – трубка опору; 3 – провід; 4 – шина;
- 5 – кінцева муфта; 6 – кабель; 7 – роз'єм спуска шин

У корпусі показчика напруги розташована сигнальна лампа, яка з'єднана із шунтувальним і додатковими високовольтними конденсаторами. Для фазіровки щупи показчика підносять до струмоведучих частин установки і стежать за світінням сигнальної лампи. У тому випадку, коли щупи показчика торкаються різних фаз, сигнальна лампа яскраво світиться. Відсутність світіння лампи свідчить про те, що щупи показчика торкаються однієї й тієї ж фази.

З метою усунення помилкового спрацювання сигнальної лампи в процесі експлуатації показчики напруги піддаються випробуванням, у ході яких вимірюється поріг запалювання лампи, тобто, та мінімальна напруга, яка необхідна для надійного її запалювання. Так, у показчиках напруги, застосовуваних у мережах 10 кВ, напруга запалювання сигнальної лампи при включенні на одну фазу повинна бути не нижче 12,7 кВ, а різні фази – 2,75 кВ. Запалювання лампи при підключенні щупів на одну фазу пояснюється впливом ємностей елементів показчика на заземлені конструкції. Протікання струму через ці ємності й викликає світіння лампи.

З метою забезпечення стабільної напруги запалювання сигнальної лампи, паралельно з нею включається шунтувальний конденсатор.

Високовольтні кабелі фазірують за допомогою трансформаторів напруги, встановлених на центрах живлення.

## **6.4 Вимоги безпеки при виконанні фазіровки силових кабелів**

*Фазіровка виконується тільки на відключених із двох сторін кабельних лініях. При цьому повинні бути вжиті заходи щодо запобігання несанкціонованого включення напруги на лінію.*

*Перед початком фазіровки для зняття залишкового заряду кабель необхідно заземлити на 2-3 хв.*

## **6.5 Порядок виконання роботи**

1. Перед початком роботи слід ознайомитися зі схемою установки (рис. 6.5), розташуванням її елементів і правилами безпечної роботи на установці.

2. Провести зовнішній огляд показчика напруги й переконатись у відсутності пошкоджень.

3. У присутності викладача включити живлення іспитової установки.

4. Перевірити справність показчика напруги. Для цього щупом трубки, що містить опори, торкаються заземлення, а щуп іншої трубки підносять до виводу апарата, який знаходиться під напругою. У момент торкання сигнальна лампа повинна загорітися. Потім щупи двох трубок підносять до одного струмоведучого виводу. Запалювання сигнальної лампи не повинне бути.

5. Перевірити наявність напруги на всіх шести фазіруємих виводах.

6. Виконати фазіровку лінії. Для цього щупом однієї трубки показчика торкаються будь-якого крайнього виводу, наприклад фази С, а щупом іншої трубки – по черзі до трьох виводів з боку фазіруємої лінії. Відсутність світіння лампи вказує на однойменність фаз.

7. Повторити операцію для визначення інших однойменних пар виводів.

8. Виконати фазіровку кабелів, використовуючи для цих цілей вольтметр у відповідності зі схемою наведеної на рисунку 6.3.

9. Використовуючи формули 6.1 і 6.2 визначити припустиме значення струму к. з. для кабельної лінії за умовою її термічної стійкості залежно від матеріалу й перерізу жил кабелів, а також тривалості проходження струму короткого замикання.

## **Контрольні запитання**

1. Поясніть, у чому полягає сутність фазіровки кабельних ліній.

2. Дайте визначення фазового кута.

3. Перелічіть, яке колірне маркування мають фази в трьохфазних ланцюгах.

4. Поясніть, чим відрізняються терміни «порядок проходження фаз» й «порядок чергування фаз».

5. Укажіть, які функції виконує захисний (РЕ) провідник.

6. Поясніть, які функції виконує (РЕ) провідник.

7. Приведіть послідовність, у якій розташовуються шини в трифазних установках до 1 кВ.

8. Укажіть, у якій послідовності розташовуються шини в розподільних пристроях 6-220 кВ.

9. Поясніть, що розуміється під терміном «група з'єднання обмоток».



10. Поясніть, чим відрізняються прямі методи виконання фазіровки від не-прямих.

11. Перелічіть прилади, які можуть використовуватися для фазіровки кабельних ліній.

12. Укажіть послідовність, у якій виконується фазіровка кабельних ліній.

13. Поясніть, як виконується фазіровка кабельних ліній за допомогою мегаомметра.

14. Перелічіть аварійні ситуації, які можуть виникати в електричних мережах внаслідок неправильної фазіровки.

15. Приведіть формули, за допомогою яких можна визначити припустиме значення струму к. з. для кабельної лінії за умовою її термічної стійкості.

Література: [1].

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

### ВИМІР ТАНГЕНСА КУТА ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВТРАТ І ЄМНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ

#### 7.1 Ціль роботи

Вивчити методику експериментального визначення тангенса кута діелектричних втрат, ємності ізоляції силових кабелів й оцінити вплив зовнішніх факторів на дані параметри.

#### 7.2 Загальні положення

На величину припустимого струму навантаження в силових кабелях, особливо з паперовою просоченою ізоляцією, істотний вплив роблять діелектричні втрати. При напрузі 220 кВ величина цих втрат може досягати 50% втрат у струмопровідних жилах.

Діелектричними втратами називають електричну потужність, що розсіюється в ізоляції в одиницю часу під дією прикладеної напруги й викликає нагрівання ізоляції.

Діелектричні втрати в ізоляції однієї фази ділянки кабелю, що має ємність  $C$  при змінній напрузі  $U$  і частоті  $\omega = 2\pi f$ , визначають за формулою:

$$P = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta, \quad \text{Вт/м}, \quad (7.1)$$

де  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс кута діелектричних втрат, який дорівнює відношенню активного й реактивного струмів

$$\operatorname{tg} \delta = I_a / I_p. \quad (7.2)$$

Величина зворотна  $\operatorname{tg} \delta$  називається добротністю ізоляції  $Q$ .

При підвищенні температури діелектричні втрати збільшуються внаслідок збільшення струму провідності й струму абсорбції. Коли діелектричні втрати обумовлені дипольною поляризацією, у кривій  $\operatorname{tg} \delta = f(T)$  спостерігається максимум. Якщо ізоляційні матеріали складаються із двох або більшої кількості дипольних речовин, у цій залежності спостерігається кілька максимумів.

У гігроскопічних матеріалів  $\operatorname{tg} \delta$  помітно зростає при збільшенні вологості.

Підвищення напруги супроводжується збільшенням  $\operatorname{tg} \delta$ , що пов'язане з іонізацією газових включень в ізоляції. По зміні  $\operatorname{tg} \delta$  можна судити про якість ізоляції.

Питомі діелектричні втрати визначають за формулою:

$$p = E^2 \omega \epsilon_0 \epsilon_r \operatorname{tg} \delta, \quad (7.3)$$

де  $E$  – напруженість електричного поля;

$\epsilon_0$  – електрична постійна;

$\epsilon_r \operatorname{tg} \delta$  – коефіцієнт діелектричних втрат.

На величину діелектричних втрат робить також вплив час знаходження кабеля під напругою.

Ємність однієї фази силового кабелю на одиницю довжини для круглих жил і не градированої ізоляції визначають за формулою:

$$C = \frac{10^{-9} \epsilon_r}{18 \ln(D/d_{\text{ж}})}, \quad \text{Ф/м}, \quad (7.4)$$

де  $D$  – діаметр кабелю по фазній ізоляції;

$d_{\text{ж}}$  – діаметр струмоведучої жили.

Для градированої ізоляції значення ємності визначають за формулою:

$$C = \frac{10^{-9}}{18 \sum_{i=1}^n \frac{1}{\epsilon_i} * \frac{d_{i+1}}{d_i}}. \quad (7.5)$$

Значення  $\epsilon_r$  і  $\operatorname{tg} \delta$  при максимально припустимих температурах та максимально можливих для кожного кабелю напругах наведені в Додатку (табл. 4).

Ємність трьохжильного кабелю із секторними жилами можна визначити приблизно за наведеними формулами із заміною секторних жил на круглі, але з перетином, збільшеним на 50% при тій же товщині ізоляції.

При включенні або вимиканні постійної напруги, або при зміні величини прикладеної напруги виникає ємнісний струм.

Довгостроково ємнісний струм існує тільки в ізоляції, що перебуває під впливом змінної напруги.

### 7.3 Схеми й засоби вимірів

Для експлуатаційного контролю застосовується схема вимірів з мостом Шеринга.

Мостова схема вимірів (рис. 7.1) складається з контрольованого об'єкта з параметрами  $C_x$  і  $\operatorname{tg} \delta$  (плече  $Z_1$ ), зразкового конденсатора  $C_0$  (плече  $Z_2$ ), ланцюгів

врівноваження (плечі  $Z_3, Z_4$ ) і показчика рівноваги (УР). Вимірювальним елементом схеми (первинним перетворювачем), через який протікає струм об'єкта, є плече  $Z_3$  (резистор  $R_3$ ).

Міст може використовуватись при прямій, переверненій і зворотній схемах включення. При прямій схемі заземлюється точка 2 моста; при переверненій схемі – точка 1, а при зворотній – точка 3. Зворотна схема включення іноді називається схемою із заземленою діагоналлю.

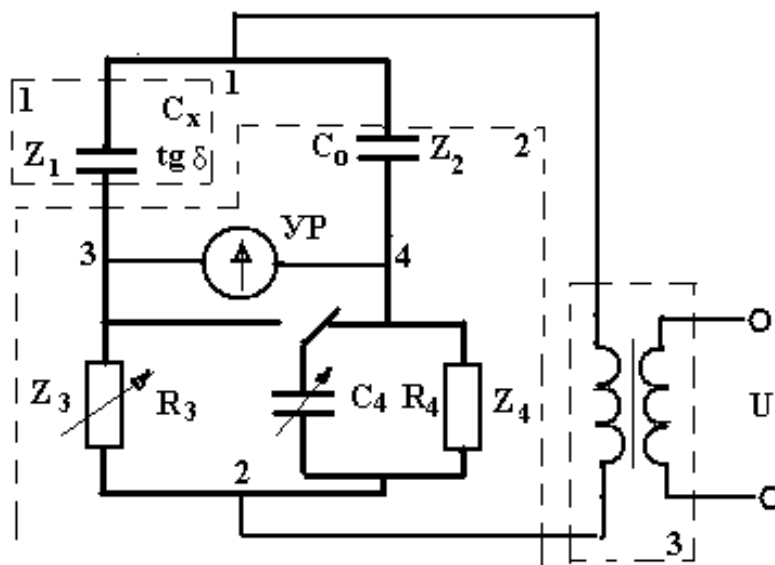


Рисунок 7.1 – Мостова схема вимірів: 1 – об'єкт контролю; 2 – засіб вимірів (вимірювальний міст); 3 – джерело напруги

Процес виміру полягає у врівноваженні (балансуванні) мостової схеми, для чого почерговими змінами опорів резистора  $R_3$  й ємності конденсатора  $C_4$  роблять вирівнювання напруг плечей  $Z_3$  й  $Z_4$  моста. При рівновазі моста, що встановлюється по відсутності показань показчика рівноваги, виконується рівність  $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$ , виходячи з якого визначаються параметри ізоляції контролюваного об'єкта:

$$\operatorname{tg} \delta = C_4 R_4 \quad \text{і} \quad C_x = \frac{R_4}{R_3} C_0.$$

При наявності перешкод (струму впливів) можливі випадки, коли струм зразкового конденсатора відстає по фазі від струму, що протікає по плечу  $Z_3$  моста і що є сумою струму об'єкта і струму перешкод. При цьому для виміру так названого негативного значення  $\operatorname{tg} \delta$  конденсатор  $C_4$  потрібно включати паралельно резистору  $R_3$ ; значення  $\operatorname{tg} \delta$  розраховують за формулою:

$$\operatorname{tg} \delta (-) = -\omega C_4 R_3.$$

Вимірювальний міст Р 5026 і зразковий конденсатор Р 5023 забезпечують можливість вимірів при високій напрузі до 10 кВ (три діапазони вимірів ємності – А1, А2 й А3) і при низькій напрузі (50 В від вбудованого трансформатора, діапазони А4 й А5).

Спрощені схеми вимірювального моста Р 5026 наведені на рисунку 7.2.

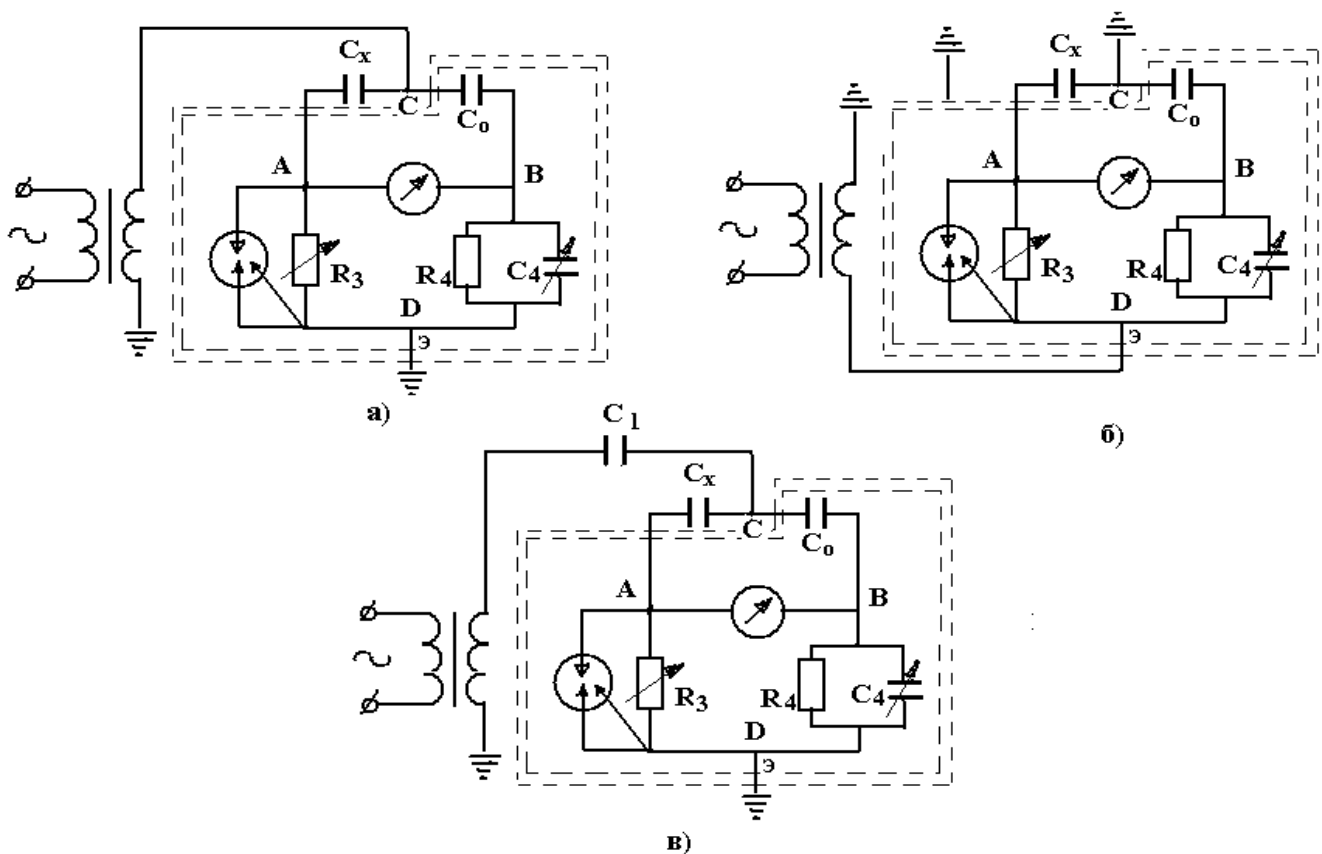


Рисунок 7.2 – Схеми вимірювального моста Р 5026:

- а) «пряма» схема вимірів на високій напрузі;
- б) «перевернена» схема вимірів на високій напрузі;
- в) «пряма» схема вимірів на низькій напрузі

Основні характеристики моста Р 5026 і формули для розрахунку результатів вимірів наведені в таблиці 5 Додатка.

При вимірах потрібно вибирати такий шунт (діапазон ємностей), при якому врівноваження виконується не менш чим трьома декадами резистора  $R_3$ . Діапазон вимірюваних негативних значень  $\text{tg } \delta$  при включеному шунті (діапазони ємності А2 і А3) значно вужче, ніж при вимірах без шунта. Тому при вимірах в умовах інтенсивних впливів, коли можливо негативне значення  $\text{tg } \delta$ , міст Р 5026 потрібно використовувати у діапазоні А1.

## 7.4 Порядок виконання роботи

1. Відкрити кришку моста й перевірити надійність з'єднання затискача заземлення моста з контуром заземлення.

2. Зібрати схему для проведення вимірів на низькій напрузі відповідно до рисунку 7.2в.

3. Установити органи управління моста в наступні положення:

перемикач «ЧУТЛИВІСТЬ dВ» у положення «ВИМК.»;

перемикачі ряду  $R_3$  у положення 50 Ом;

перемикачі ряду  $C_4$  у положення 0,001;

перемикач «А» у положення передбачуваного значення вимірюваної величини ємності при роботі на низькій напрузі. Якщо значення ємності об'єкта невідомо, перемикач «А» потрібно встановити у положення виміру найбільшої ємності; перемикач «Б» у положення «+ tg  $\delta$ ».

4. У присутності викладача включити тумблер «МЕРЕЖА». При цьому повинна загорітися лампочка освітлення шкали мікроамперметра.

5. Рукоятку «ЧУТЛИВІСТЬ» установити в положення, при якому стрілка мікроамперметра відхилиться на 30-35 мкА.

6. Обертанням ручки «А» перемикача меж виміру потрібно вибрати положення, при якому відхилення стрілки мікроамперметра буде мінімальним. **При цій операції не допускається натискати кнопку «К»!**

7. По черзі регулюючи опори ряду R3 й ємності ряду C4, збільшуючи при цьому чутливість показчика рівноваги, необхідно домогтися положення, при якому стрілка мікроамперметра найбільше близько підійде до нульової відмітки шкали.

8. Врівноважування мосту закінчується при такій чутливості, при якій зміна R3 або C4 на величину рівну 1/2 припустимої основної похибки, викликає відхилення стрілки мікроамперметра не менш чим на 0,5 мм.

При найбільшій чутливості врівноважування виконується по мінімальному відхиленню стрілки мікроамперметра.

9. Значення відліку C4 й R3 запишіть у таблицю 3.1 і переведіть перемикач полярності «Б» в інше положення, не міняючи знака.

Таблиця 3.1 – Результати експериментальних і розрахункових значень

Найменування об'єкта	C <sub>4</sub>	R <sub>3</sub>	C <sub>x</sub>	tg $\delta$	P <sub>a</sub>
----------------------	----------------	----------------	----------------	-------------	----------------

10. Проведіть визначення ємності й тангенса кута діелектричних втрат за формулами, наведеними у таблиці 12 Додатка.

11. Після закінчення вимірів встановіть перемикач «ЧУТЛИВІСТЬ» у положення «ВИКЛ» і відключіть тумблер «МЕРЕЖА».

### Контрольні запитання

1. Перелічіть параметри, за допомогою яких можна оцінити діелектричні втрати.

2. Приведіть еквівалентні схеми заміщення, які використовуються для вивчення діелектриків із втратами.

3. Назвіть процеси, які викликають діелектричні втрати в ізоляції.

4. Перелічіть зовнішні фактори, які впливають на величину діелектричних втрат.

5. Приведіть формули, які використовуються для розрахунку ємності струмо-ведучої жили силового кабелю.

6. Укажіть діапазон зміни відносної діелектричної проникності діелектричних матеріалів, використовуваних як ізоляція силових кабелів.

7. Приведіть схеми виміру тангенса кута діелектричних втрат на високій напрузі.

8. Перелічіть прилади й устаткування, які використовуються для виміру  $\tan \delta$  і ємності ізоляції силового устаткування.

9. Перелічіть фактори, що роблять вплив на похибку виміру  $\tan \delta$  і ємності ізоляції.

10. Назвіть матеріали, які застосовуються для ізоляції в силових кабелях і вкажіть значення їх  $\tan \delta$  і ємності ізоляції.

Література: [2].

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Пантелеев Е. Г. Монтаж и ремонт кабельных линий. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
2. Ларина Э. Т. Силовые кабели и кабельные линии. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 365 с.
3. Шалыт Г. М. Определение мест повреждения в электрических сетях. – М.: Энергоиздат, 1982. – 312 с.
4. Правила устройства электроустановок. – Х.: Издательство «ИНДУСТРИЯ», 2012. – 768 с.

## ДОДАТКИ

Таблиця 1 – Номінальні перерізи основних, нульових і жил заземлення

Жила	Номінальний переріз, мм <sup>2</sup>										
Основна	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
Нульова	6	10	16	16	25	25	35	35	50	50	70
	-	-	-	-	-	35	50	70	70	95	120
Заземлення	4	6	10	16	16	25	35	35	50	50	70

Таблиця 2 – Літерні індекси, що позначають матеріали й конструкцію елементів кабелів з паперовою і пластмасовою ізоляцією

Ін-декс	Місце розташування індексу в марці кабелю	Значення індексу	Приклад марок
1	2	3	4
<b>Струмopовідна жила</b>			
А	На першому місці	Алюмінієва	ААБЛУ, ААШВУ, АСБУ
Не має	-----	Мідна	АБЛУ, СБУ, ВВГ
(ож)	Наприкінці позначення	Однопроволочні жили	ААБЛУ 3*120 (ож), ААШВУ 3*95 (ож)
<b>Ізоляція жил</b>			
Не має	-----	Паперова із грузлим просоченням	ААШВУ
В	Наприкінці позначення через дефіс	Паперова зі збідненим просоченням	ААБЛУ-В, СБУ-В
Ц	Поперед позначення	Паперова з нестікаючим просоченням	ЦААБЛ, ЦСБ, ЦАСБ
В	Після індексу жил	З полівінілхлориду	АВВГ, ВВГ
П	Те ж	З поліетилену	АПВГ, ПВГ
з	Наприкінці позначення	Заповнювач із полівінілхлориду	АВВГз, ВВГз
У	Те ж	Паперова з підвищеними температурами нагрівання	ААБЛУ, ААШВУ, ААШпсУ
Пс	У середині позначення	Із самозагасаючого поліетилену	АПсВГ
Пв	Те ж	З вулканізуючого поліетилену	АПвВГ
Пвс	Те ж	З вулканізуючого самозагасаючого поліетилену	АПвсВГ
Р	Те ж	З гуми	НРГ, ВРГ
Рт	Те ж	З гуми підвищеної теплостійкості	НРтГ, ВРтГ
<b>Оболонка</b>			
А	На першому або другому місці	Алюмінієва	ААБЛУ, ААШпсУ,
С	На першому або другому місці	Свинцева	АСБУ, АСШВУ, СБУ



1	2	3	4
В	У середині позначення	Полівінілхлоридна	АВВГ, АПВБШв, ПВГ
П	Те ж	Поліетиленова	АВПГ, АППБ, АППГ
Г	Після індексу оболонки	Кабель без захисного покриття	СГУ, АСГУ, ПВГ
Н	На першому або другому місці	Не поширює горіння гумова	НРГ, АНРГ
О	Те ж	Окрема оболонка кожної жили	АОСБУ, ОСБУ
<b>Подушка під бронею</b>			
Не-має	-----	Крепирований папір, просочений бітумом	АСБУ, СБУ, АСБГ
л	Після індексу броні	Крепирований папір, просочений бітумом, і одна пластмасова стрічка	АСБЛУ, ААБЛУ
2л	Те ж	Крепирований папір, просочений бітумом, і дві пластмасові стрічки	ААБ2л, АСБ2лу
в	Те ж	Випресований полівінілхлоридний шланг	Аабпу, Абву
п	Те ж	Випресований поліетиленовий шланг	ААБпУ, АБпУ
б	Те ж	Без подушки	ААБбУ, АВВбШв
<b>Броня</b>			
Б	Після індексу оболонки	Плоскі сталеві стрічки	ААБЛУ, АСБУ, АВВбШвУ
П	Те ж	Сталеві оцинковані плоскі дроти	ААПЛУ, АСПЛУ, СПЛУ
К	Те ж	Сталеві круглі оцинковані дроти	СКУ, АСКУ
<b>Зовнішній покрив</b>			
Не має	Те ж	Просочена бітумом кабельна пряжа	ААБЛУ, АСБУ, АВВБ
Г	Після індексу броні	Без зовнішнього покриття на броні	СБГУ, АСБГУ, ААБЛГУ
н	Після індексу броні	Негорючий склад зі скляної стрічки або пряжі	ААБлнУ, АСБнУ
Шп	Те ж	Поліетиленовий шланг	ААШпУ, АВВбШп, АСШп
Шв	Те ж	Полівінілхлоридний шланг	ААШвУ, ААБлШвУ

Таблиця 3 – Межі вимірів й основні похибки мегаомметрів

Тип мегаомметра	Номинальна напруга, В	Діапазон вимірюваних опорів, МОм	Ділянки діапазону з відносною погрешністю		Примітка
			менш 15%	менш 30%	
1	2	3	4	5	6
Ф 4102М/1	100	0-30 0-2000	- -	0 03-30 30.1000	

1	2	3	4	5	6
Φ 4102М/2	500	0-150 0-10000	- -	0 15 150 150-5000	
	1000	0-300 0 2000	- -	0,3-300 300 10000	
	1000	0.2000 0-20000	75-1000 750-4000		
	2500	0-5000 0-50000	190-2500 1900-10000		
Φ 4108М/1.2	1000, 2500	0-50 5-100 50-1000 500-10000 5000-100000	5-50 50-500 500-5000 5000-50000		Відносна погрішність виміру на відзначених ділянках шкали не більше 10%
ЭС0202/1	100 250	0-1000 0 1000	0. 05-1000 0,05-1000		
ЭС0202/2	500	0-1000	0,05 1000		
	500	0 10000	0,5-10000		
	1000	0-10000	0,5-10000		
	2500	0-10000	0,5-10000		

Таблиця 4 – Секторні алюмінієві жили кабелів напругою 1-10 кВ

Конструкція кабелю і жили	Висота h, мм / ширина b, мм для жил перерізом, мм <sup>2</sup>							
	35	50	70	95	120	150	185	240
Трьохжильні однодротові, 1-10 кВ	5,5	6,4	7,6	9,0	10,1	11,3	12,5	14,4
	9,2	10,5	12,5	15	16,6	18,4	20,7	23,8
Трьохжильні багатодрові, 1-10 кВ	6	7	9	10	11	12	13,2	15,2
	10	12	14	16	18	20	22	25
Чотирьохжильні однодротові, 1 кВ	—	7	8,2	9,6	10,8	12	13,2	—
	—	10	12	14,1	16	18	18	—

Таблиця 5 – Значення коефіцієнтів вкорочення й хвильових опорів

№ п/п	Тип лінії	Коефіцієнт вкорочення	Хвильовий опір, Ом
1	Силові високовольтні кабелі типу СБ, ОСБ, ОАБ, СБС 3-6-10-35-110 кВ	1,87	25-35
2	Повітряні лінії електропередачі 35-110-220-400 кВ	1,0	400
3	Коаксіальні кабелі з поліетиленовою ізоляцією (РК-50-2-11 та ін.)	1,52	50

Таблиця 6 – Значення коефіцієнтів вкорочення й хвильових опорів

Тип лінії	Коефіцієнт укорочення			Хвильовий опір, Ом		
	Середній провід - два крайніх	Провід - крайній провід	Три провода - земля	Середній провід - два крайніх	Провід - крайній провід	Три провода - земля
Повітряні одноланцюгові лінії електропередачі:						
110 кВ	1	1,01	1,06-1,04	330-380	380-410	610-650
220 кВ	1	1,01	1,06-1,02	350	410	650
330 кВ	1	1,01	1,08-1,03	260	300	485
500 кВ	1	1,02-1,83	1,09-1,04	245	280	445
Силові трьохжильні кабельні лінії з жильною поясною ізоляцією СБ, ААБ, СГТ та ін.	1,87-1,83	1,87-1,83	1,97-1,89	8-30	8-30	12-60

Таблиця 7 – Розрахункові значення термічного коефіцієнта С для кабелів з алюмінієвими жилами

Тип кабелю	Припустима температура, °С		Завантаження лінії до моменту к. з.			
	тривала	при к. з.	0,5P <sub>н</sub>	0,65P <sub>н</sub>	0,75P <sub>н</sub>	P <sub>н</sub>
1	2	3	4	5	6	7
З паперовою ізоляцією напругою:						
35 кВ	50	125	86/84	84/82	81/80	73/74
20 кВ	55	125	86/83	82/81	80/78	70/71
10 кВ	60	200	107/105	104/103	101/101	94/95
6 кВ	65	200	106/105	103/102	100/100	92/93
З ізоляцією з поліетилену й полівінілхлориду	70	120 130 160	82/79 86/83 95/94	77/75 81/79 91/90	73/72 77/76 88/87	59/60 64/65 77/78
З паперовою ізоляцією на 1 кВ	80	200	105/103	100/100	97/97	85/87
З ізоляцією з вулканізованого поліетилену	90	250	114/113	110/109	109/106	95/96

Примітка: у чисельнику позначені значення для температури навколишнього середовища  $T_0 = 15^\circ\text{C}$ , у знаменнику –  $T_0 = 25^\circ\text{C}$ .

Таблиця 8 – Припустимі струми для кабелів із просоченою паперовою ізоляцією

Номінальні перерізи струмопро- відних жил, мм <sup>2</sup>	Припустимий струм однофазного короткого замикання, кА для кабелів на напругу			
	1-6 кВ		10 кВ	
	Мідні жили	Алюмінієві жили	Мідні жили	Алюмінієві жили
6	0,77	0,55	0,81	0,53
10	1,29	0,85	1,35	0,89
16	2,06	1,36	2,16	1,42
25	3,21	2,12	3,37	2,23
35	4,5	2,97	4,72	3,12
50	6,43	4,25	6,74	4,45
70	9,0	5,94	9,43	6,23
95	12,21	8,06	12,8	8,46
120	15,42	10,19	16,17	10,69
150	19,28	12,73	20,21	13,36
185	23,78	15,71	24,93	16,47
240	30,84	20,4	32,34	21,37

Примітка: при інших значеннях тривалості к. з. значення припустимих струмів к. з., позначені в таблиці 6, необхідно помножити на коефіцієнт  $k = \sqrt{\frac{1}{\tau_k}}$ , де  $\tau_k$  тривалість к. з. у секундах.

Поправочні коефіцієнти, що враховують залежність струму навантаження від температури навколишнього середовища, наведені в таблиці 9, а поправочні коефіцієнти, що враховують попереднє струмове навантаження кабелю перед к. з., – у таблиці 10.

Таблиця 9 – Поправочні коефіцієнти, що враховують залежність струму навантаження від температури навколишнього середовища

Номінальна напруга кабелю, кВ	Значення коефіцієнта залежно від температури навколишнього середовища, °С										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Прокладка на повітрі											
1-6	1,2	1,17	1,13	1,09	1,04	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,74
10	1,24	1,2	1,15	1,11	1,05	1	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
Прокладка в землі											
1-6	1,11	1,08	1,04	1	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
10	1,13	1,09	1,04	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,74	0,67	0,6

Таблиця 10 – Поправочні коефіцієнти, що враховують попереднє струмове навантаження кабелю перед коротким замиканням

Номинальна напруга кабелю, кВ	Значення коефіцієнта залежно від коефіцієнта навантаження кабелю, $I/I_{\text{доп}}$						
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
1-6 кВ при прокладці: на повітрі	1,22	1,2	1,17	1,14	1,1	1,05	1
у землі	1,26	1,24	1,2	1,16	1,11	1,06	1
10 кВ при прокладці: на повітрі	1,17	1,15	1,13	1,11	1,07	1,04	1
у землі	1,21	1,19	1,16	1,13	1,09	1,05	1

Таблиця 11 – Значення  $\epsilon_r$  й  $\text{tg } \delta$  для силових кабелів з різною ізоляцією

Тип кабелю	$\text{tg } \delta$	$\epsilon_r$
<i>Кабелі з просоченою паперовою ізоляцією</i>		
Із густим просоченням, з повністю або попередньо просоченою ізоляцією або просочені нестікаючою масою	0,01	4
Маслонаповнені низького тиску	0,004-0,0045	3,3-3,75
Маслонаповнені високого тиску в сталевому трубопроводі	0,0045	3,7
Газонаповнені	0,004-0,0045	3,4-3,5
<i>Кабелі з ізоляцією із інших матеріалів</i>		
З гуми на основі бутилкаучуку	0,05	4,5
З етиленпропіленової гуми	0,04	3
З полівінілхлориду	0,1	8
Зі зшитого поліетилену	0,0008	2,5
З термопластичного поліетилену	0,001	2,3

Таблиця 12 – Основні характеристики мосту Р 5026 (діапазони вимірів при високій напрузі)

Межі виміру		Межі робочої напруги кВ	Положення перемикача		Формули розрахунку		$I_{C_x \text{ max}},$ А
$C_x$	$\text{tg } \delta$		«А»	«N»	$C_x, \text{ мкф}$	$\text{tg } \delta_x$	
1	2	3	4	5	6	7	8
10-1000	$1 \cdot 10^{-4}$ -0,1	5-10	1	0,1	$0,1C_0 \frac{R_4}{R_3}$	$0,1C_4$	$3 \cdot 10^{-3}$

1		2	3	4	5	6	7	8				
100-10000		1*10 <sup>-4</sup> -1,0	3-10	1	1	$C_0 \frac{R_4}{R_3}$	3 <sub>4</sub>	3*10 <sup>-2</sup>				
10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup> -2*10 <sup>4</sup>			2	1	$200C_0 \frac{150-S+R_3}{R_3}$	3 <sub>4</sub>	3*10 <sup>-1</sup>				
	2*10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>		3-5						3	1	$2000C_0 \frac{150-S+R_3}{R_3}$	3 <sub>4</sub>
10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>		5*10 <sup>-4</sup> -1,0		< 0,1	4	0,1	$4 * 10^{-4} \frac{R_4}{R_3}$	0,1C <sub>4</sub>				
650-2*10 <sup>5</sup>		5*10 <sup>-3</sup> -0,1	4		1	$4 * 10^{-3} \frac{R_4}{R_3}$	3 <sub>4</sub>	3*10 <sup>-2</sup>				
6500-2*10 <sup>6</sup>		5*10 <sup>-3</sup> -1,0							5	1	$\frac{R_4}{R_3}$	2*10 <sup>-1</sup>
2*10 <sup>6</sup> -5*10 <sup>8</sup>												

На межі A1:  $\operatorname{tg} \delta (-) = -\operatorname{tg} \delta \frac{R_3}{R_4}$ . На межах A2 й A3:  $\operatorname{tg} \delta (-) = -\operatorname{tg} \delta$

$$\frac{R_3}{R_4} \cdot \frac{150}{150 + R'_3}.$$

Позначення:  $C_0$  – ємність зразкового конденсатора Р 5023, пФ;  $C_4$  – відлік ємності магазину плеча  $Z_4$  мосту, мкф;  $R_3$  – відлік опору магазину плеча  $Z_3$  мосту, Ом.

Навчальне видання

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт  
з курсу

## **КАБЕЛЬНІ ТА ПОВІТРЯНІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ**

(для студентів 4 курсу денної та 5 курсу заочної форм навчання бакалаврів  
за напрямом підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології)

Укладач **ДЬЯКОВ Євген Дмитрович**

Відповідальний за випуск *Ю. П. Кравченко*

Редактор *З. І. Зайцева*

Комп'ютерне верстання *Г. О. Павлова*

План 2013, поз. 209 М

---

Підп. до друку 15.10.2013 р.

Формат 60×84/16

Друк на ризографі.

Ум. друк. арк. 2,4

Тираж 50 пр.

Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014 р.